

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(72)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Edward Alexander Mendez Cristancho		
<b>FACULTAD</b>	Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Especialización en Automatización Industrial		
<b>DIRECTOR</b>	Roni Mauricio Jaya Camacho		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Diseño de un banco de condensadores automático para la corrección del factor de potencia en una planta extractora de aceite de palma de capacidad de 45 toneladas/hora		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Design of an automatic capacitor bank for power factor correction in a palm oil extraction plant with a capacity of 45 tons/hour		
<b>RESUMEN</b>			
Se realizó un diseño de un banco de condensadores automático. Para ello, se realizó una investigación aplicada. La información fue suministrada por la empresa VITIS OLEI SAS. Se logró identificar y cuantificar la carga eléctrica de la planta. Posteriormente, se calculó la potencia reactiva y se definió el sistema de control y mecanismos. Finalmente, se elaboró el diseño de los tableros y el diseño eléctrico del banco de condensadores.			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
A design of an automatic capacitor bank was made. For this, an applied research was carried out. The information was provided by the company VITIS OLEI SAS. It was possible to identify and quantify the electrical load of the plant. Subsequently, the reactive power was calculated and the control system and mechanisms were defined. Finally, the design of the boards and the electrical design of the capacitor bank were elaborated.			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Diseño. Banco. Condensadores. Capacitores. Control. Potencia. Sistema. Carga.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Design. Bank. Capacitors. Control. Power. System. Burden.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 72	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:1



Diseño de un banco de condensadores automático para la corrección del factor de potencia en una planta extractora de aceite de palma de capacidad de 45 toneladas/hora

Edward Alexander Mendez Crispancho

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Automatización Industrial

Esp. Roni Mauricio Jaya Camacho

08 Junio del 2022

## Contenido

	<b>pág.</b>
Capítulo 1. Título.....	7
1.1 Planteamiento del Problema.....	7
1.2 Formulación del Problema.....	8
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
1.4 Justificación.....	8
1.4.1 Beneficios sociales.....	9
1.4.2 Beneficios tecnológicos.....	9
1.4.3 Beneficios económicos.....	9
1.4.4 Beneficios empresariales.....	9
1.4.5 Beneficios ambientales.....	10
1.5 Delimitación.....	10
1.5.1 Delimitación operativa.....	10
1.5.2 Delimitación conceptual.....	10
1.5.3 Delimitación geográfica.....	10
1.5.4 Delimitación temporal.....	10
Capítulo 2. Marco Referencial.....	11
2.1 Marco Histórico .....	11
2.2 Marco Teórico. ....	12

2.2.1 Tipos de cargas.....	12
2.2.2 Tipos de potencia.....	18
2.2.3 Corrección del factor de potencia.....	21
2.2.4 Planteamiento analítico para la corrección del factor de potencia.....	22
2.2.5 Definición de un capacitor.....	25
2.2.6 Aspectos a considerar para instalar bancos de capacitares.....	26
2.2.7 Conexión del banco de capacitares.....	29
2.3 Marco Conceptual.....	32
2.4 Marco Legal.....	34
Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	35
3.1 Tipo de Investigación.....	35
3.2 Fases para el Desarrollo del Proyecto.....	35
3.2.1 Fase 1. Evolución de los sistemas utilizados en la corrección del factor de potencia de la carga (bancos de condensadores) en plantas industriales.....	35
3.2.2 Fase 2- Distinguir los tipos de bancos de condensadores, sus elementos y accionamientos automatizados y no automatizados, utilizados en la corrección del factor de potencia de la carga en plantas industriales.....	38
3.2.3 Fase 3. Calcular la potencia reactiva a controlar y definir el sistema de control y mecanismos del banco de condensadores que permitan corregir el factor de potencia de la carga en la planta extractora de aceite de palma.....	48
Capitulo 4. Conclusiones.....	66
Capitulo 5. Recomendaciones.....	68
Referencias.....	69

## Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. Elementos lineal y no lineal.....	13
Figura 2. Forma de onda de corriente.....	14
Figura 3. Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga resistiva.....	15
Figura 4. Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga inductiva.....	16
Figura 5. Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga capacitiva.....	17
Figura 6. Representa la potencia activa (P) en fase con la tensión (V).....	18
Figura 7. Potencia activa en adelanto $Q_c$ o atraso $Q_L$ con respecto a la tensión.....	19
Figura 8. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y reactiva.....	19
Figura 9. Triángulo de potencia.....	20
Figura 10. Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia.....	22
Figura 11. Corrección del $\cos \phi_1$ a $\cos \phi_2$ manteniendo el suministro de carga constante... ..	23
Figura 12. Factor de tabla para cálculo de potencia de banco de capacitares.....	24
Figura 13. Cambio de potencia activa y reactiva con factor de potencia, manteniendo la potencia aparente de la carga constante.....	25
Figura 14. Estructura de un capacitor.....	25
Figura 15. Ilustración de una armadura de un capacitor.....	27
Figura 16. Arreglo de una unidad capacitiva y detalles del capacitor interno.....	29
Figura 17. Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra.....	30
Figura 18. Conexión estrella neutro flotante con protección en el neutro.....	31
Figura 19. Conexión delta para motores de baja tensión.....	31
Figura 20. Clasificar.....	<b>¡Error! Marcado</b>
Figura 21. Análisis comparativo entre los dispositivos estadísticos y dinámicos.....	44

Figura 22. Condensador Trifásico Tubular.....	45
Figura 23. Gabinetes.....	45
Figura 24. Contactor para condensadores trifásicos.....	46
Figura 25. Interruptor trifásico termomagnéticos.....	47
Figura 26. Controlador del factor de potencia.....	47
Figura 27. Características Sentron PAC 3200.....	51
Figura 28. Catálogo de Condensadores trifásicos.....	56
Figura 29. Catálogo de contactores para condensadores.....	57
Figura 30. Catálogo de protecciones.....	58
Figura 31. Catálogo de interruptores.....	59
Figura 32. Vista Frontal Externa.....	60
Figura 33. Vista Frontal Interna (medidas en mm).....	61
Figura 34. Vista Posterior.....	61
Figura 35. Esquema de Potencia 1. ....	62
Figura 36. Esquema de Potencia 2. ....	62
Figura 37. Esquema de Potencia 3. ....	63
Figura 38. Esquema de Potencia 4. ....	63
Figura 39. Esquema de Control 1. ....	64
Figura 40. Esquema de Control 2. ....	64
Figura 41. Esquema de Control 3. ....	65
Figura 42. Esquema de Control 4.....	65

**Lista de Tablas**

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Cálculo de la capacidad del banco de condensadores.....	48
Tabla 2. Necesidades y características.....	52
Tabla 3. Los TC's.....	55
Tabla 4. Elementos principales de banco de condensadores.....	59

## Capítulo 1. Título

DISEÑO DE UN BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA DE CAPACIDAD DE 45 TONELADAS/HORA.

### 1.1 Planteamiento del Problema

Generalmente, en todas las plantas que constituyan procesos industriales se genera un alto consumo de energía eléctrica debido a la cantidad de máquinas, motores y elementos que funcionan se accionan de forma eléctrica y de control (carga) empleados para poder obtener un producto final

Estas cargas eléctricas industriales, en su naturaleza son de carácter inductivo, debido a que principalmente sus equipos poseen un alto componente reactivo, lo cual permite que además de consumir potencia activa (kW), se consuman grandes cantidades de potencia reactiva (kVAR). Esta potencia reactiva ocasiona un aumento de pérdidas de energía en las líneas, y limita la capacidad de transporte de energía útil, lo que disminuye la eficiencia de la red.

Aunque las empresas distribuidoras de energía eléctrica pueden abastecer completamente una planta industrial, o inclusive la misma planta a partir de grupos electrógenos podría producir la energía necesaria para realizar sus procesos, se genera un gasto de energía eléctrica innecesaria, además de un calibre del conductor muy grande, ya que la corriente que circula por los conductores aumenta considerablemente, lo que genera pérdidas económicas a la empresa.

Para reducir la potencia reactiva que consume una planta industrial, en este caso, una planta extractora de aceite de palma, se hace necesario corregir el factor de potencia de la carga de la planta con un banco de condensadores automático, que se active paso a paso a medida que

incremente la carga.

## 1.2 Formulación del Problema

¿Cuál sería el diseño de un banco de condensadores automático que permita corregir el factor de potencia de la carga en una planta extractora de aceite de palma de 45 toneladas/hora?

## 1.3 Objetivos

**1.3.1 Objetivo general.** Diseñar un banco de condensadores automático para la corrección del factor de potencia en una planta extractora de aceite de palma de 45 toneladas/hora

**1.3.2 Objetivos específicos.** Como se muestra a continuación:

Identificar y cuantificar la carga eléctrica de la Planta Extractora Vitis Olei SAS a la cual se le va a diseñar el banco de condensadores para su corrección del factor de potencia.

Calcular la potencia reactiva y definir el sistema de control y mecanismos del banco de condensadores de acuerdo a los lineamientos de los directivos de la Planta Extractora Vitis Olei SAS

Realizar el diseño de los tableros y el diseño eléctrico del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia en la Planta Extractora Vitis Olei SAS.

## 1.4 Justificación

La necesidad de corregir el factor de potencia, con el fin de reducir la potencia reactiva que consumirá la planta extractora de aceite, es un tema muy importante, ya que en este caso, el sistema eléctrico, de instrumentación, control y automatización se encuentra en fase de diseño, la

corriente que circulará por los conductores eléctricos, depende en gran medida del diseño del banco de condensadores, ya que se reducen costos de instalación de cableado, costos de consumo de energía eléctrica, aumento de la capacidad eléctrica de la planta en caso de que se requiera hacer una ampliación futura.

**1.4.1 Beneficios sociales.** Se generará interés a la comunidad por la adopción de nuevas tecnologías en la industria de la extracción de aceite de palma. Incitando así a la sociedad a fortalecer sus conocimientos y capacidades.

**1.4.2 Beneficios tecnológicos.** Mayor eficiencia y calidad en los sistemas eléctricos de potencia de la planta. Ya que se disminuyen las pérdidas por las caídas de tensión, teniendo una red eléctrica más fiable dentro de la planta.

**1.4.3 Beneficios económicos.** Reducción en el consumo y mayor calidad de energía eléctrica, bien sea de la suministrada por la red convencional o de la generada por los grupos electrógenos de la planta.

Reducción en los calibres del cableado estructural, de control y de potencia de la planta, al momento del montaje de la misma.

**1.4.4 Beneficios empresariales.** Como se muestra a continuación:

Desarrollo automatizado en la planta.

Obtención de Registros de Calidad.

Reducción en el índice de accidentalidad y enfermedades en el trabajo, debido a la reducida manipulación de los sistemas eléctricos de potencia.

Reducción en el mantenimiento correctivo de las máquinas de la planta, debido a que, con una energía eléctrica de mayor calidad, se obtiene mayor rendimiento en las mismas.

**1.4.5 Beneficios ambientales.** Al reducir el consumo de energía eléctrica, se utiliza menor cantidad de combustibles para generarla, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero.

## **1.5 Delimitación**

**1.5.1 Delimitación operativa.** Reducción de potencia reactiva en distintos niveles, en función de una variable de control, la cual puede ser la misma potencia reactiva del sistema, el nivel de tensión en un punto del sistema o una hora del día.

**1.5.2 Delimitación conceptual.** Automatización de procesos industriales, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, variables de control, banco de condensadores.

**1.5.3 Delimitación geográfica.** Planta Extractora Vitis Olei SAS (En montaje), ubicada en el municipio de Maní, Departamento del Casanare.

**1.5.4 Delimitación temporal.** Este proyecto se desarrollará en 10 semanas.

## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1 Marco Histórico

Compensación de Potencia reactiva. – Gómez Morales Enrique, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México DF. Tesis de Pregrado Ingeniería Eléctrica, presentada en octubre de 2009, se desarrolló una metodología para la compensación de potencia reactiva en un sistema industrial empleando bancos de capacitores.

El aporte de este trabajo de grado al presente trabajo, es el de mostrar un procedimiento metodológico que tiene como fin compensar la potencia reactiva de un sistema industrial en el que la mayoría de la carga eléctrica es de carácter reactivo. La metodología está basada en la aplicación de un banco de capacitores, el cuál van actuando dependiendo de la carga que se requiera.

Estudio para la corrección del factor de potencia en BT del sistema eléctrico de la planta FORD – Santana Navarro Gerardo Andrés – Venezuela, Universidad Simón Bolívar – Sartenejas. Informe de Pasantía de pregrado de Ingeniería Eléctrica, presentado en diciembre de 2010, en el cual se presentan detalles técnicos para la corrección del factor de potencia por medio de la compensación de energía reactiva en baja tensión, aplicadas en las subestaciones principales de la planta FORD MOTORS de Venezuela.

El aporte de esta investigación al presente trabajo, es el de validar metodologías aplicadas a la corrección del factor de potencia para sistemas que integren subestaciones y redes de baja tensión.

Ubicación óptima de bancos de capacitores en sistemas de potencia– Arrieta Tamez Sergio – México DF, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica, presentada en febrero de 2002, donde se exponen las características de ubicación óptima de bancos de condensadores, con el fin de evitar resonancias y sobre voltajes, que afecten el correcto funcionamiento de los bancos de capacitores.

El aporte de este trabajo de grado al presente trabajo, es el de realizar un estudio previo a la instalación de los bancos de condensadores en sistemas industriales, esto dado que se requiere determinar la ubicación más viable del banco de condensadores con el fin de que se puedan evitar todas aquellas interferencias y se genere un mal funcionamiento de estos.

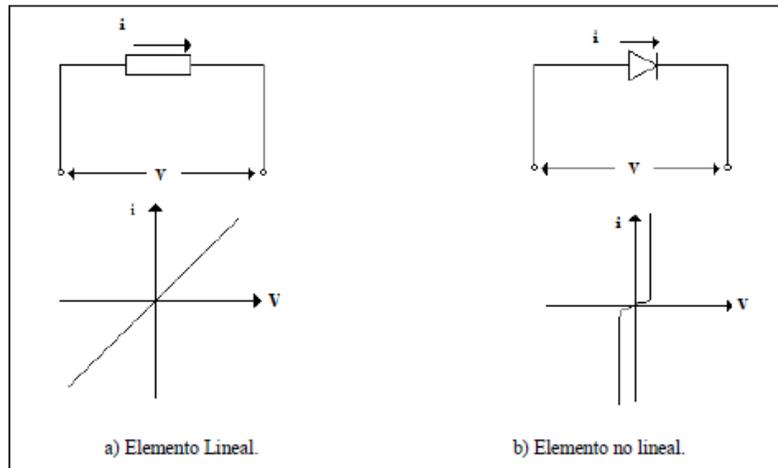
## **2.2 Marco Teórico**

**2.2.1 Tipos de cargas.** Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, las cargas eléctricas en los sistemas han venido cambiando paulatinamente desde el tipo resistivo, inductivo o capacitivo hacia cargas que tienen comportamientos diferentes a los esperados. En general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: Cargas lineales y las Cargas no lineales.

La forma de onda de la corriente en una carga lineal es la misma que la forma de onda de la tensión. Como ejemplo de cargas lineales se tienen los motores de inducción, las lámparas incandescentes y los calefactores. Estas cargas han sido muy habituales en donde su principal característica es que utilizan directamente la potencia eléctrica para realizar sus funciones.

## Figura 1

*Elementos lineal y no lineal. Gómez, 2009.*

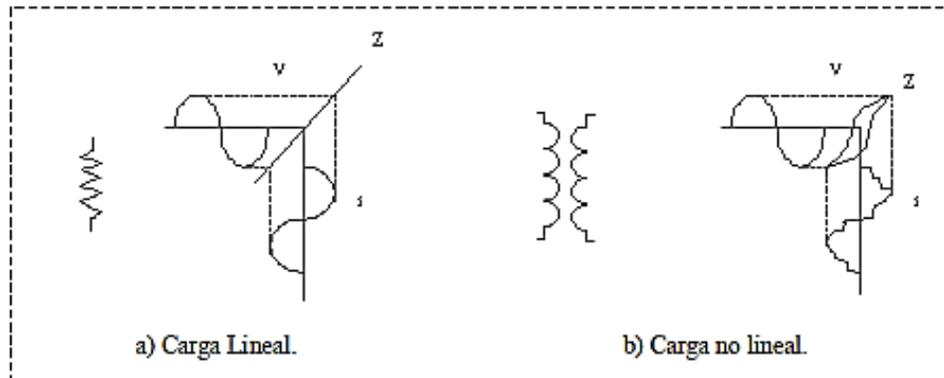


La forma de onda de la corriente en una carga no lineal es diferente de la forma de onda de la tensión; en estos tipos de cargas se incluyen todas aquellas que solicitan corrientes no sinusoidales a partir de una fuente senoidal. Estos tipos de cargas están presentes en equipos y dispositivos eléctricos o electrónicos en donde el ahorro energético es el ámbito más importante. Como ejemplo de cargas no lineales se pueden encontrar equipos de control de velocidad de motores, lámparas fluorescentes, lámparas de descarga, computadores, elementos de calefacción con control de temperatura.

En las cargas no lineales es muy usual que la energía eléctrica no sea utilizada directamente tal como se suministra, siendo muy común encontrarlas en los circuitos rectificadores, que proporcionan una corriente y tensión continua a su salida. Generalmente, en los circuitos donde se utilizan estos rectificadores la corriente no es de forma sinusoidal.

## Figura 2

*Forma de onda de corriente. Gómez, 2009.*



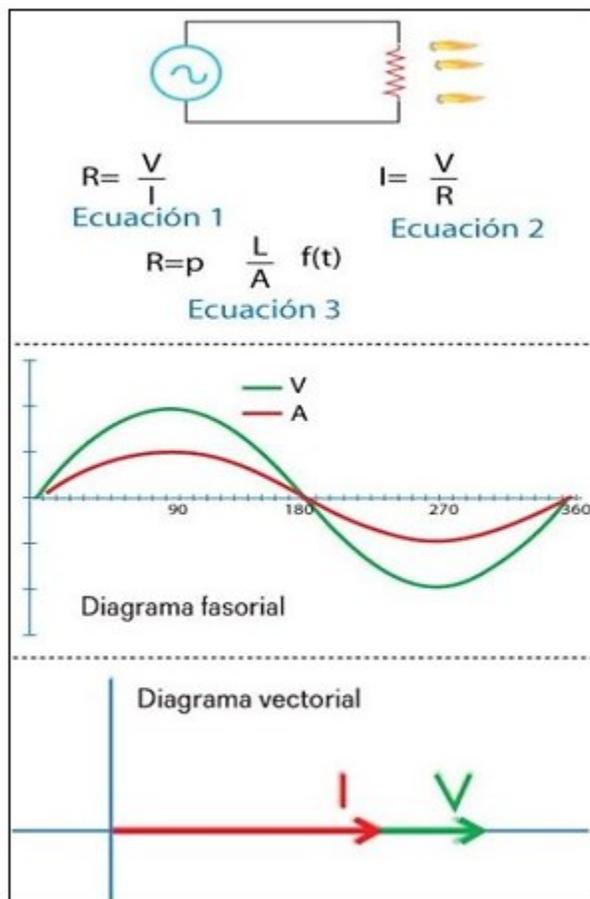
### ***Relación del factor de potencia y tipos de cargas en los circuitos eléctricos***

Pueden distinguirse tres tipos de cargas eléctricas al conectar un equipo a una red, por la que circula una corriente eléctrica expresada en amperes (A) y tensión expresada en volts (V).

**Cargas resistivas.** Este tipo de cargas convierten la energía eléctrica en calor. La resistencia de la carga depende de la tensión y de la corriente. Como expresión matemática es cierta, pero como concepto puede no estar tan cerca de la realidad, ya que la resistencia depende principalmente del material y de sus características.

### Figura 3

*Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga resistiva. Gómez, 2009.*

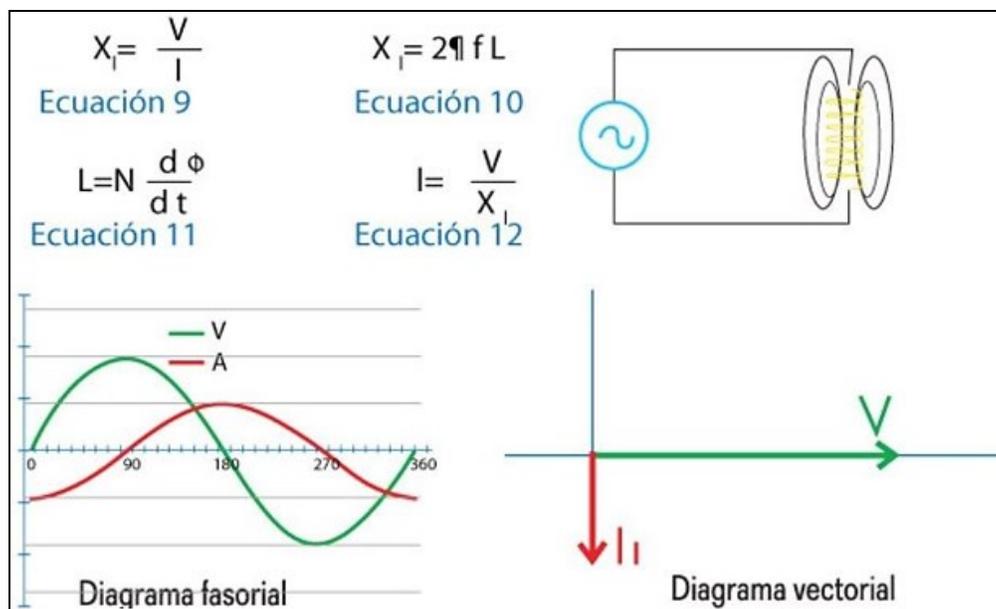


**Cargas inductivas.** En este tipo de cargas, la potencia, que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna, la convierte en un campo magnético variable que, de acuerdo con las leyes de Faraday y Lenz, producen una tensión en la bobina que se opone a la fuente que la produce. De tal forma que en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. La inductancia (bobina) toma potencia de la fuente, la usa y posteriormente la regresa y no la consume.

En este caso, en lugar de la resistencia (R), se tiene una reactancia inductiva, la cual depende del número de espiras (N), de la frecuencia (f) y del flujo.

#### Figura 4

*Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga inductiva. Gómez, 2009.*



**Cargas capacitivas.** En este tipo de cargas, la potencia que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna la convierte en campo eléctrico, que en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. Es decir, que el capacitor se carga y descarga (toma potencia de la fuente, la usa y la regresa, pero no la consume).

En este caso no se puede hablar de una resistencia, sino de una reactancia capacitiva, la cual depende en su mayoría de sus características físicas. La corriente depende de la tensión y de la reactancia capacitiva, pero no se podría decir que la reactancia depende de la tensión y de la corriente. Si hay un aumento de la tensión, también se eleva la reactancia y permanece constante.

## Figura 5

*Ecuaciones, Diagrama Fasorial y Diagrama Vectorial de una carga capacitiva. Gómez, 2009.*



**Cargas combinadas.** Otro tipo de cargas hacen uso de varias combinaciones de inductores, capacitores y resistores para llevar a cabo funciones diferentes tipos de funciones o funciones específicas. Por ejemplo, un condensador eléctrico de un radio utiliza inductores variables o capacitores en combinación con un resistor para filtrar un rango de frecuencias mientras permite sólo una banda estrecha pasar a través del resto del circuito.

Los motores de una fase con frecuencia utilizan capacitores para ayudar al motor durante el encendido y la marcha. El capacitor de inicio provee una fase adicional de voltaje al motor a

partir de que éste cambia la corriente y voltaje fuera de fase recíprocamente.

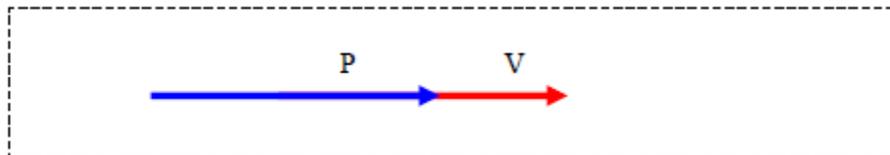
**2.2.2 Tipos de potencia.** La potencia se puede definir como la capacidad para efectuar un trabajo, en otras palabras, como la razón de transformación, variación o transferencia de energía por unidad de tiempo.

### ***Potencia activa (P)***

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten energía eléctrica en otras formas de energía como: calorífica, química, mecánica, eólica, térmica, entre otras. Esta energía corresponde a la energía útil o potencia activa o simplemente potencia, similar a la consumida por una resistencia. Expresada en watts. La potencia activa  $P$ , por originarse por la componente resistiva, es un vector a cero grados, como se puede apreciar en la figura 6.

### **Figura 6**

*Representa la potencia activa (P) en fase con la tensión (V). Gómez, 2009.*



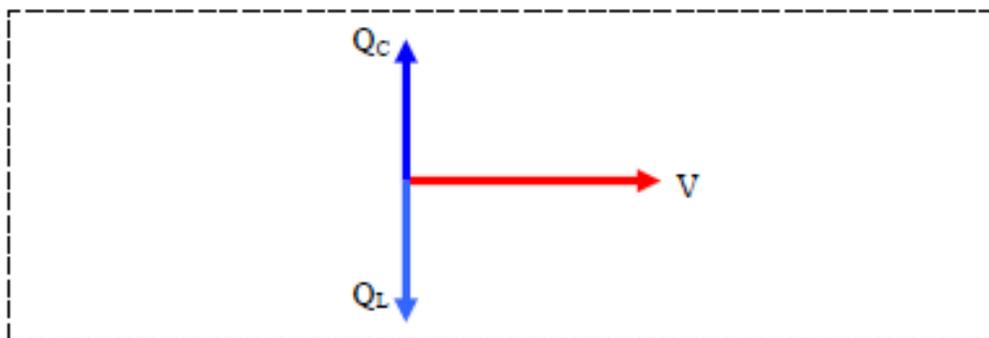
### ***Potencia reactiva (Q)***

Los motores, transformadores y en general todos los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación del campo magnético, almacenaje de campo eléctrico que, en sí, no produce ningún trabajo.

La potencia reactiva esta  $90^\circ$  desfasada de la potencia activa. Esta potencia es expresada en volts-ampere reactivos. (VAR). Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos, los cuales pueden ser del tipo inductivo QL o capacitivo QC, como se observa en la figura 7.

### Figura 7

*Potencia activa en adelanto Qc o atraso QL con respecto a la tensión. Gómez, 2009.*

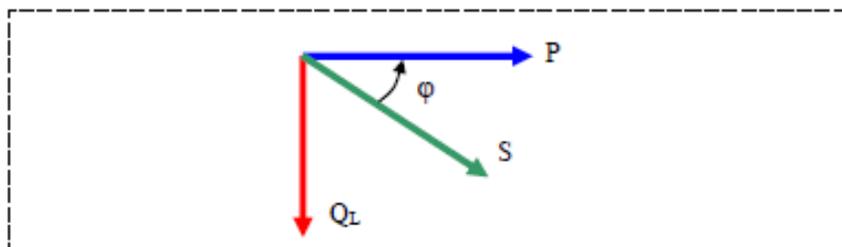


### Potencia aparente (S)

Es la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo de la corriente que éste demanda. Es también la resultante de la suma de los vectores de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia es expresada en volts-ampere (VA)

### Figura 8

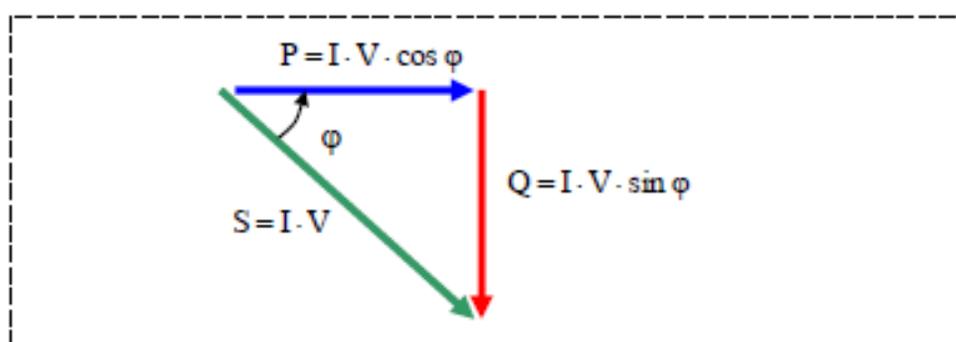
*Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y reactiva. Gómez, 2009.*



**El factor de potencia y el triángulo de potencia.** El factor de potencia (fp) es la relación entre las potencias activa (P) y aparente (S) si las corrientes y tensiones son señales sinusoidales. Si estas son señales perfectamente sinusoidales el factor de potencia será igual al  $\cos \varphi$ , o bien el coseno del ángulo que forman los fasores de la corriente y la tensión, designándose en este caso como  $\cos \varphi$  el valor de dicho ángulo.

### Figura 9

*Triángulo de potencia. Gómez, 2009.*



Lo ideal sería que el resultado del factor de potencia fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, o sea, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

En los circuitos de resistencia activa, el factor de potencia siempre es 1, porque como ya vimos anteriormente en ese caso no existe desfase entre la intensidad de la corriente y la tensión.

Pero en los circuitos inductivos, como ocurre con los motores, transformadores de tensión y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra con una fracción decimal menor que 1 (como por ejemplo

0,8), lo que indica el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoide correspondiente a la intensidad de la corriente con respecto a la senoide de la tensión (Gómez, 2009).

**2.2.3 Corrección del factor de potencia.** Corregir el factor de potencia tiene como objetivo reducir o eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad. Por lo que es necesario distribuir las unidades capacitivas, dependiendo de su utilización, en el lado del usuario del equipo de medida. Existen una variedad de métodos para corregir o mejorar el factor de potencia, entre los que se destacan la instalación de capacitores eléctricos o bien, la aplicación de motores sincrónicos que finalmente actúan como capacitores.

Compensación individual en motores.

Compensación por grupo de cargas.

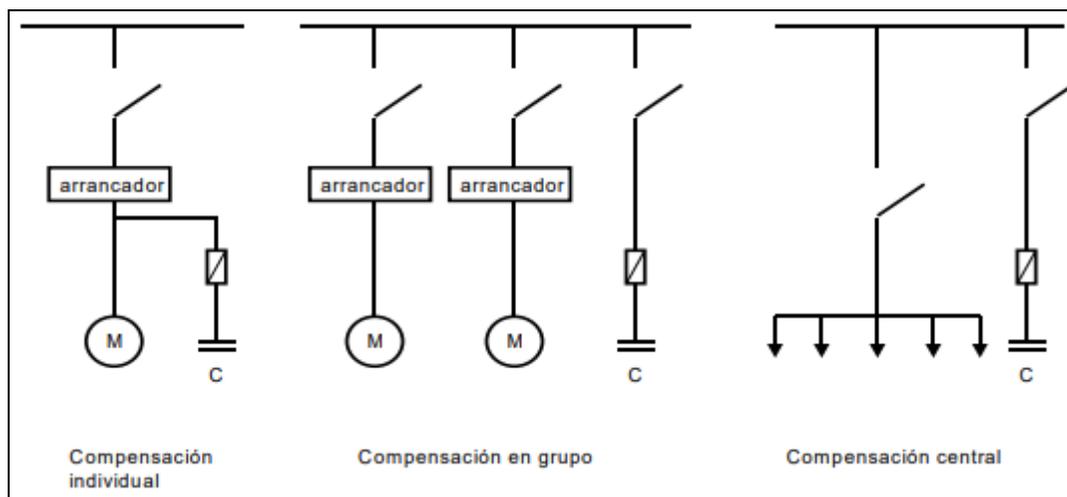
Compensación centralizada.

Compensación combinada.

Los capacitores eléctricos o bancos de capacitores, pueden ser instalados en varios puntos en la red de distribución en una planta, y pueden distinguirse cuatro tipos principales de instalación de capacitores para compensar la potencia reactiva. Cada una de las instalaciones observadas en la figura que se muestra a continuación corresponden a una aplicación puntual, sin embargo, cabe resaltar la importancia de que antes de instalar capacitores eléctricos, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, tensión de las líneas de distribución, entre otros.

**Figura 10**

*Tipos de instalaciones de capacitores para corregir el factor de potencia. Bolton, 2010.*



**2.2.4 Planteamiento analítico para la corrección del factor de potencia.** La aplicación de los bancos de capacitores en las instalaciones industriales y en las redes de distribución, es la corrección del factor de potencia, esto se hace por varias razones en las que se presentan beneficios energéticos y económicos:

Disminuir el valor de la factura de energía eliminando el cargo por factor de potencia.

Se puede solicitar bonificación por parte de la compañía que suministra la energía eléctrica.

Se disminuye la caída de tensión en cables, ya que se sabe que la caída de tensión en cables provoca la pérdida de potencia, al tener esta disminución en la caída de tensión inducirá a que las pérdidas de potencia sean mínimas ya que:

$$\Delta V = I (R \cos \varphi + WL \text{ Sen} \varphi)$$

Donde:

$\Delta V$  = Disminución en la caída de voltaje en volts (V)

$L$  = Inductancia en Henry (H)

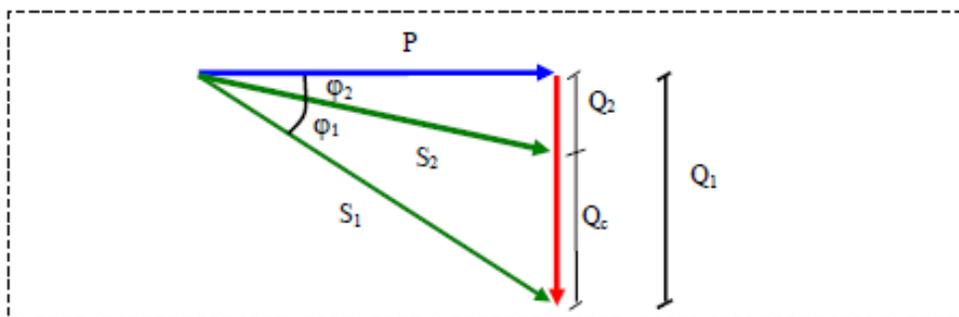
$\omega = 2 \pi f$ ; donde la frecuencia  $\omega$  esta en rad/seg.

$f$  = Frecuencia en Hertz (Hz)

Considerando la figura 11, si el valor mínimo especificado es  $\cos \phi_2$ , entonces es necesario pasar de  $\cos \phi_1$  a  $\cos \phi_2$ , mantenido el suministro de la carga constante, por lo tanto, para pasar del valor actual de consumos de potencia reactiva  $Q_1$ , al valor deseado, para obtener el ángulo  $\phi_2$ , es decir a  $Q_2$ , se requiere restar a  $Q_1$  una cantidad  $Q_c$ , que corresponde a la potencia reactiva del banco de capacitores.

### Figura 11

*Corrección del  $\cos \phi_1$  a  $\cos \phi_2$  manteniendo el suministro de carga constante. Gómez, 2009.*



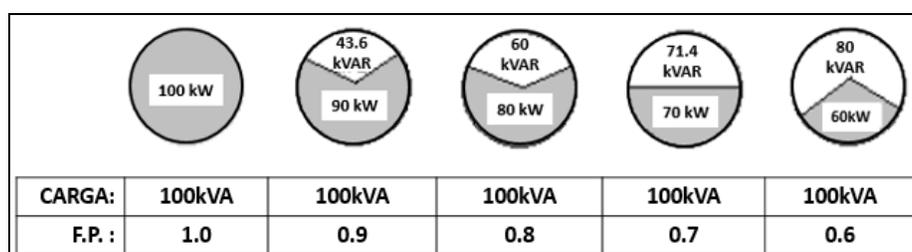
Para realizar el cálculo de  $Q_c$  se utiliza la ecuación 11, sin embargo, se puede utilizar la ecuación 12 la cual se obtiene a través de la figura 11, donde en el primer caso el factor  $K$  se obtiene por medio de la figura 12, donde se muestra el factor inicial el cual es el factor en el que



En la figura 13, se puede observar el cambio que existe en las potencias activa y reactiva cuando el factor de potencia varia de 0.6 hasta la unidad, manteniendo la potencia aparente de la carga constante.

**Figura 13**

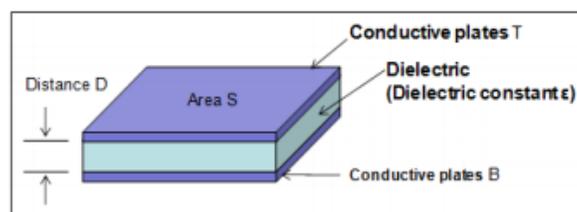
*Cambio de potencia activa y reactiva con factor de potencia, manteniendo la potencia aparente de la carga constante. Gómez, 2009.*



**2.2.5 Definición de un capacitor.** Un condensador es un elemento pasivo capaz de almacenar energía eléctrica. Este se encuentra formado por dos conductores (armaduras) separados por un material aislante (dieléctrico). Un dieléctrico o aislante es un material que evita el paso de la corriente.

**Figura 14**

*Estructura de un capacitor. Dorf, 2012.*



Al conectar un capacitor o condensador en un circuito, la corriente empieza a circular por el mismo. A la vez, el condensador va acumulando carga entre cada una de sus placas. Cuando el

condensador se encuentra totalmente cargado, deja de circular corriente por el circuito. En el caso de que se quite la fuente y se coloque el condensador y la resistencia en paralelo, la carga empieza a fluir de una de las placas del condensador a la otra a través de la resistencia, hasta que la carga es nula en las dos placas. En este caso, la corriente circulará en sentido contrario al que circulaba mientras el condensador se estaba cargando.

Los capacitores almacenan carga que posteriormente se puede liberar, como un flash de cámara o como respaldo de energía en las computadoras para cuando falla la potencia, se llama capacitancia o capacidad a la cantidad de cargas eléctricas que es capaz de almacenar, los capacitores también bloquean los excesos de carga y energía para proteger los circuitos.

**2.2.6 Aspectos a considerar para instalar bancos de capacitares.** Como se muestra a continuación:

### ***Partes principales de un capacitor de potencia***

Las partes principales de un capacitor de potencia, son las que se mencionan a continuación:

Caja o carcasa: esta caja o carcasa tiene la función de contener la parte activa del capacitor, está construida de placa de acero con un espesor adecuado al volumen del capacitor, la caja contiene las siguientes partes:

Placa de características: en esta placa deben estar contenidos todos los datos característicos para la identificación del capacitor, como son: su potencia nominal en kVAR, la tensión nominal de operación, su capacitancia, la frecuencia a que opera, su peso o masa, el nivel básico de aislamiento, la fecha de fabricación, etc.

Los aisladores: corresponden a las terminales externas de las unidades capacitivas.

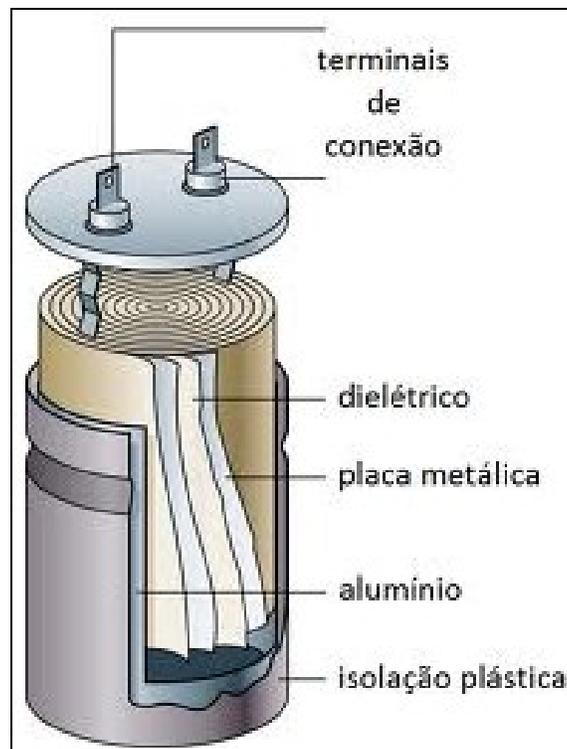
Ganchos en ojales para levantamiento. Son usados para levantar la unidad capacitiva

Soportes para fijación: se utilizan para fijar la unidad capacitiva en su estructura de montaje.

Armadura: está constituida por hojas de aluminio enrolladas con el dieléctrico, como se muestra en la figura 15, con espesores comprendidos entre 3 y 6 mm y patrón de pureza de alta calidad, con el objetivo de mantener en bajos niveles las pérdidas dieléctricas y las capacitancias nominales del proyecto.

### Figura 15

*Ilustración de una armadura de un capacitor. UAEH, 2021.*



Dieléctrico.: actualmente existen dos tipos básicos de capacitores en cuanto a su medio dieléctrico:

a) Capacitores del tipo autoregenerable: son aquellos cuyo dieléctrico está formado por una fina capa de película de polipropileno esencial, asociada muchas veces, una capa de papel dieléctrico (papel Kraft) con alrededor de 18 mm de espesor. Es necesario que los componentes dieléctricos estén constituidos de material seleccionado y de alta calidad, para no influenciar negativamente las pérdidas dieléctricas.

b) Capacitores de tipo impregnado: están constituidos por una sustancia impregnante que se trata a continuación:

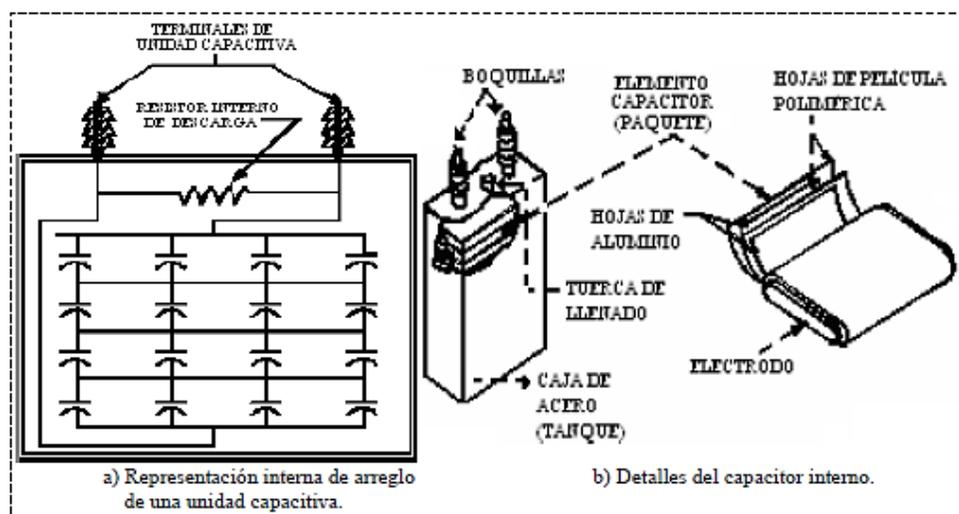
Líquido de impregnación: los fabricantes de capacitores usan normalmente una sustancia biodegradable con una estructura molecular constituida por carbono e hidrógeno (hidrocarbonato aromático sintético) que no es agresivo con el medio ambiente.

Resistor de descarga. Cuando se retira la tensión de las terminales de un capacitor, la carga eléctrica almacenada necesita ser dañada para que la tensión resultante sea eliminada, evitándose de esta manera situaciones peligrosas de contacto con las referidas terminales.

Para que esto sea posible, se inserta entre las terminales un resistor, con la finalidad de transformar en pérdidas Joule la energía almacenada en el dieléctrico, reduciendo a 75V el nivel de tensión en un tiempo menor a 10 minutos para capacitores en media tensión; y menor que 3 minutos para capacitores de baja tensión. Este dispositivo de descarga se puede instalar en forma interna o externa al capacitor, siendo más común la primera solución, como se muestra en la figura 16 a) y 17 b).

**Figura 16**

*Arreglo de una unidad capacitiva y detalles del capacitor interno. Gómez, 2009.*



### 2.2.7 Conexión del banco de capacitares. Los capacitores instalados, se pueden conectar

en cualquiera de las conexiones trifásicas clásicas que son: Estrella sólidamente aterrizada, estrella con neutro flotante y delta.

#### *Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra*

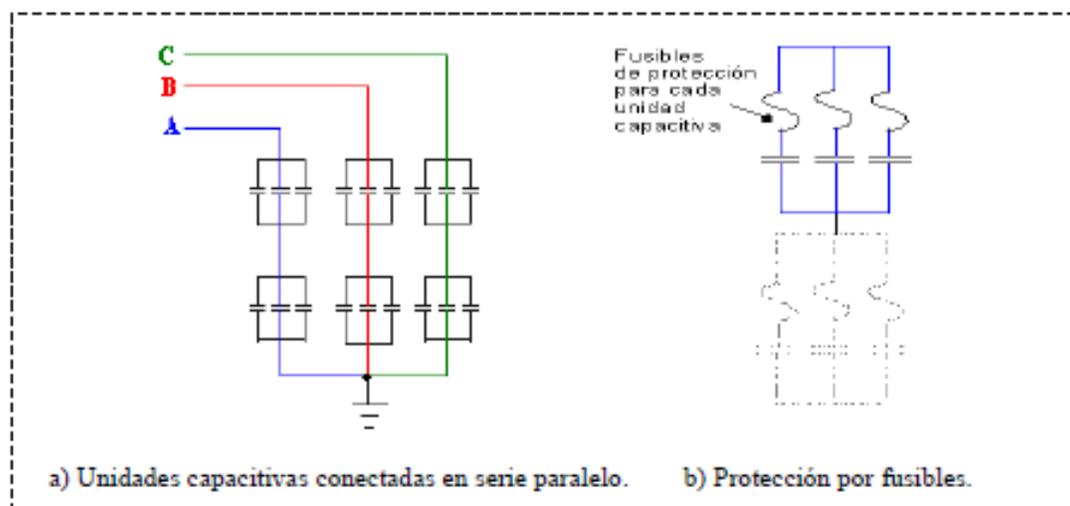
En esta conexión, el voltaje de las unidades capacitivas debe ser *igual o mayor* que el voltaje de fase a neutro del sistema al cual se van a conectar. Normalmente esta conexión se usa en sistemas de distribución, en rangos de tensiones hasta 34.5 kV. La capacidad del banco en kVAR se selecciona de manera que proporcione la potencia reactiva deseada en el sistema.

Cada fase en este tipo de conexión está formada por grupos de unidades capacitivas conectadas en serie paralelo para dar el valor de potencia deseado tal como se muestra en la figura 16 a), en este tipo de arreglos generalmente se adopta una protección por fusibles para cada unidad capacitiva, sin embargo existe también la posibilidad de proteger a las unidades

capacitivas por grupo, esta opción se usa generalmente en sistemas de distribución con compensación de baja capacidad, esto se muestra en la figura 17 b) (Gómez, 2009).

### Figura 17

*Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra. Gómez, 2009.*

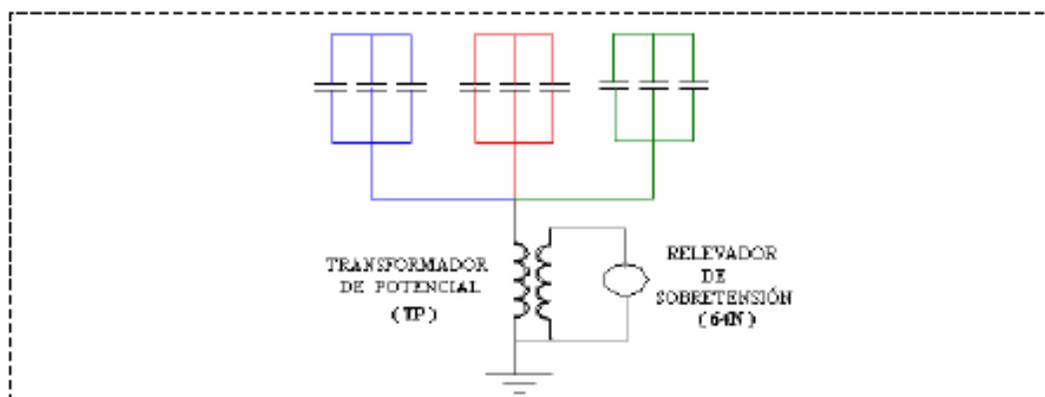


La conexión estrella con neutro sólidamente aterrizado, tiene la ventaja de permitir un balanceo de fases más fácil que en otras conexiones, sin embargo, en estos arreglos, se presenta el problema de que la falla en una unidad capacitiva presenta una sobretensión en el resto de las unidades del arreglo, sometiéndolas a mayores esfuerzos dieléctricos.

**Conexión estrella con neutro flotante.** Este tipo de conexión se usa en sistemas de media tensión o mayores, presenta la ventaja de evitar en forma importante la presencia de transitorios de sobretensión y permite también una mejor protección contra sobre corriente; en cambio, tiene el problema de desbalance de voltaje, que hace que aparezcan tensiones al neutro, por lo que es necesario incorporar una protección contra sobretensiones al neutro. En la figura 18, se muestra la protección para este tipo de arreglo (Gómez, 2009).

**Figura 18**

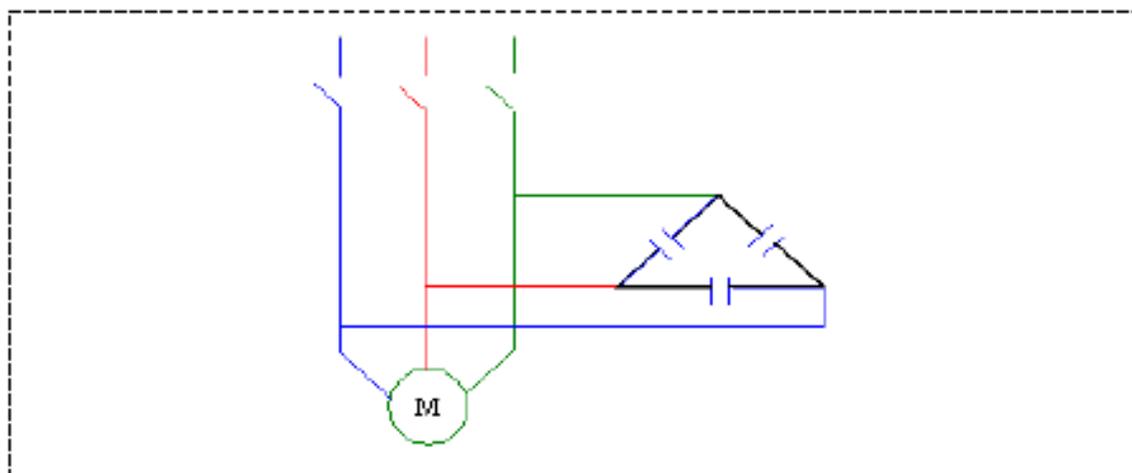
*Conexión estrella neutro flotante con protección en el neutro. Gómez, 2009.*



**Conexión delta.** En esta conexión se usa generalmente en baja tensión (600 Volts o menos) en motores eléctricos o cargas de valor similar, tiene la ventaja sobre las conexiones en estrella de que no presenta problemas de desbalance y también aísla las corrientes armónicas (Gómez, 2009).

**Figura 19**

*Conexión delta para motores de baja tensión. Gómez, 2009.*



## 2.3 Marco Conceptual

**Banco de capacitores:** en la industria eléctrica, es práctica usual corregir el factor de potencia mediante la instalación o conexión de capacitores. Este tipo de arreglo recibe el nombre de banco de capacitores.

Los bancos de capacitores se diseñan o fabrican con ciertos diferentes, de acuerdo con potencia reactiva del sistema eléctrico.

**Capacitor:** un condensador eléctrico (también conocido frecuentemente con el anglicismo capacitor, proveniente del nombre equivalente en inglés) es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.<sup>12</sup> Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total (esto es, que todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra) separadas por un material dieléctrico o por el vacío.<sup>3</sup> Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total.

Aunque desde el punto de vista físico un condensador no almacena carga ni corriente eléctrica, sino simplemente energía mecánica latente, al ser introducido en un circuito, se comporta en la práctica como un elemento "capaz" de almacenar la energía eléctrica que recibe durante el periodo de carga, la misma energía que cede después durante el periodo de descarga.

**Factor de Potencia:** el factor de Potencia es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica.

La mayoría de las cargas en sistemas de distribución eléctricos modernos son inductivas. Por Ej.: los motores, los transformadores, balastos de la iluminación y Hornos de inducción.

La energía reactiva no realiza “trabajo útil,” pero circula entre el generador y la carga, provocando un drenaje importante en la fuente de energía, así como en el sistema de distribución.

El factor de Potencia puede tomar valores entre 0 y 1 lo que significa que un alto Fp (0.95-1.0) indica una máxima utilización de la energía eléctrica, mientras que un factor de Potencia bajo ( $< .90$ ) señala una pobre utilización de la energía eléctrica. En otras palabras, un Fp de 0.9 indica que, del total de la energía abastecida por la compañía suministradora, sólo el 90% de la energía es utilizada por el cliente mientras que el 10% restante es energía que se desaprovecha.

Tener un factor de potencia bajo lleva a la compra de más energía para obtener igual carga y que usted está pagando en la facturación.

**Control automático:** entendemos por control automático el mantenimiento de un valor deseado dentro de un intervalo, su funcionamiento se basa en medir el valor deseado y compararlo con el intervalo de valores aceptables utilizando la diferencia para proceder a reducirla. Por esto el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana. Un ejemplo de control automático es un termostato de calefacción.

**Potencia eléctrica:** La potencia eléctrica es la relación de transferencia de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

**Instrumentación Industrial:** La instrumentación industrial es el grupo de equipamientos y dispositivos que sirven a los ingenieros o técnicos, justamente, para medir, convertir y registrar

variables de un proceso (o “cuerpo industrial”) y, luego, transmitir las, evaluarlas y controlarlas con tales fines.

Los aparatos de medición y control de procesos industriales suelen mensurar características físicas (tensión, presión & fuerza, temperatura, flujo y nivel, velocidad, peso, humedad y punto de rocío) o químicas (pH y conductividad eléctrica).

**Resonancia:** La resonancia es un fenómeno que se produce cuando coincide la frecuencia de un sistema, ya sea mecánico o eléctrico, con una fuente externa a la misma frecuencia. En un sistema eléctrico sucede cuando tenemos una impedancia inductiva en paralelo con una impedancia capacitiva y ambas impedancias se igualan, dando en su lugar un aumento de la impedancia total del sistema.

## 2.4 Marco Legal

Norma ISO-9001: (Sistema para el aseguramiento de la calidad, diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio).

Norma IEC (International Electrotechnical Commission) 61131-3: Estandarización en la programación de control industrial.

NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano.

RETIE 2013 – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

## Capítulo 3. Diseño Metodológico

### 3.1 Tipo de Investigación

Este proyecto es de tipo “investigación aplicada”, ya que se enfoca en la búsqueda de la generación conocimientos, solucionando un problema en el sector productivo.

### 3.2 Fases para el Desarrollo del Proyecto

Este proyecto fue ejecutado en tres fases, de forma que cada en cada fase se desarrolló uno de los objetivos de la siguiente manera:

**3.2.1 Fase 1. Evolución de los sistemas utilizados en la corrección del factor de potencia de la carga (bancos de condensadores) en plantas industriales.** Se puede inferir que los bancos de capacitores se emplean únicamente en plantas y/o procesos industriales que utilicen energía eléctrica trifásica, ya que en sistemas monofásicos es muy difícil mejorar el factor de potencia, ya que éste se encuentra en un punto muy bueno, por lo general en la escala de 0.85 a 0.95, por lo tanto, la potencia reactiva del sistema se mantiene en un promedio muy bajo.

#### *Corrección del factor de potencia*

Todos los aparatos eléctricos que suministran energía ya sea en forma de luz, calor, sonido, rotación, movimiento, etc. Consumen una cantidad de energía eléctrica equivalente a la entregada directamente de la fuente de electricidad a la cual están conectados. Esta energía consumida se denomina Activa, la cual se registra en los medidores y es facturada al consumidor por las respectivas empresas de suministro eléctrico. Algunos aparatos, debido a su principio de funcionamiento, toman de la fuente de electricidad una cantidad de energía mayor a la que registra el medidor: una parte de esta energía es la ya mencionada energía Activa, y la parte

restante no es en realidad consumida sino entretenida entre el aparato y la red de electricidad.

Esta energía entretenida se denomina Reactiva y no es registrada por los medidores del grupo tarifario al cual pertenecen los consorcios. La energía total (formada por la Activa y la Reactiva) que es tomada de la red eléctrica se denomina Aparente y es la que finalmente debe ser transportada hasta el punto de consumo.

La energía que toman los aparatos de la fuente es de una corriente alterna que tiene que ser convertida a corriente continua, esta conversión provoca un desfasamiento de la corriente y que pierda su forma senoidal originando un factor de potencia bajo.

El hecho de transportar una energía mayor a la que realmente se consume, impone la necesidad de que los conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro de esta energía sean más robustos, por lo tanto, se eleva el costo del sistema de distribución.

Además, el efecto resultante de una enorme cantidad de usuarios en esta condición, provoca que disminuya en gran medida la calidad del servicio de electricidad (altibajos de tensión, cortes de electricidad, etc.). Por estos motivos, las compañías de distribución, toman medidas que tienden a compensar económicamente a esta situación (penalizando o facturando la utilización de energía Reactiva) o bien a regularizarla (induciendo a los usuarios a que corrijan sus instalaciones y generen un mínimo de energía Reactiva).

### ***Causas del bajo factor de potencia***

Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc., son el origen del bajo factor de potencia ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica, en este tipo de

equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca un bajo factor de potencia.

### ***Consecuencias del bajo factor de potencia***

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a 1.0, afectan a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión, además, tiene las siguientes consecuencias en la medida que el factor de potencia disminuye:

### ***Incremento de las pérdidas por efecto joule***

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión  $I^2R$  donde  $I$  es la corriente total y  $R$  es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinados de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.). Las pérdidas por efecto

Joule se manifestarán en:

Calentamiento de cables

Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución, y

Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar cortos circuitos.

**Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.** El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y

líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, debido a que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que éste se rebase.

### ***Aumento de la caída de tensión***

La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

Los embobinados de los transformadores de distribución

Los cables de alimentación, y a los

Sistemas de protección y control

Incremento en la facturación eléctrica

Debido a que un bajo factor de potencia implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el productor y distribuidor de energía eléctrica se ve en la necesidad de penalizar al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

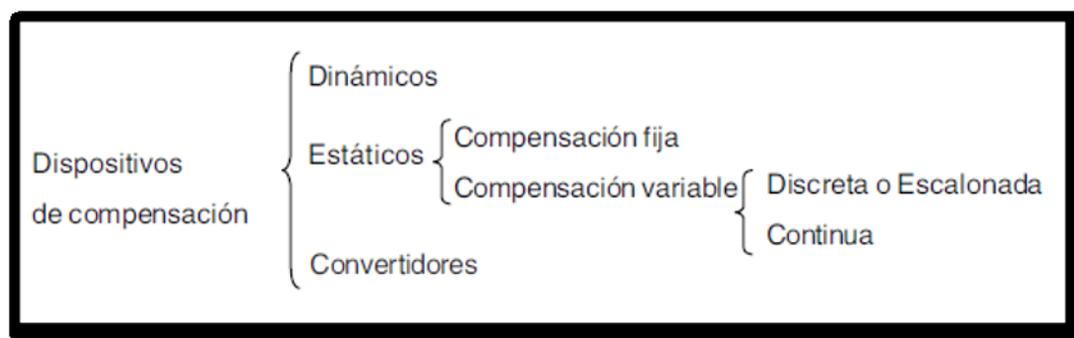
**3.2.2 Fase 2- Distinguir los tipos de bancos de condensadores, sus elementos y accionamientos automatizados y no automatizados, utilizados en la corrección del factor de potencia de la carga en plantas industriales.** Los dispositivos de compensación de la potencia reactiva suministran a los receptores del sistema una buena parte de la corriente reactiva

necesaria para su funcionamiento energético, permitiendo la descarga de dicha corriente del sistema eléctrico hasta el punto de compensación.

Pueden clasificarse atendiendo al principio de operación en:

## Figura 20

*Clasificar*



Cada dispositivo ha representado un avance tecnológico en la búsqueda de mejores prestaciones (Borges, 2005).

### ***Dispositivos dinámicos de compensación de reactivo***

Los dispositivos dinámicos de compensación están formados por compensadores o motores sincrónicos. Los compensadores sincrónicos, se han utilizado fundamentalmente en la compensación del reactivo en líneas de transporte de energía eléctrica. Son alternadores (máquinas de corriente alterna) cuya excitación se ha regulado de forma que solo generen potencia reactiva (sobreexcitados). En el pasado fueron los principales dispositivos de compensación en las líneas de transmisión, ya que permiten una compensación continua, ajustada a la potencia reactiva necesaria en cada instante, siendo esta su mayor ventaja. En la actualidad, a nivel industrial, su uso es muy restringido. Algo más usual es el empleo de motores sincrónicos

que realizan simultáneamente las funciones de accionamiento a una carga activa continua y la producción de potencia reactiva de compensación para el sistema. No obstante, exige para su selección de un riguroso análisis técnico-económico.

### ***Dispositivos estáticos de compensación fija***

Los dispositivos de compensación estáticos son aquellos formados por capacitores y(o) bobinas estacionarias. El empleo de la compensación fija a través de capacitores en la industria y en los sistemas de potencia data de principios del siglo XX. Como en los sistemas eléctricos predomina la carga inductiva por la propia composición de las instalaciones (líneas, máquinas eléctricas, etc.), la compensación de reactivo se realiza por la asociación de un banco de capacitores de compensación, generalmente en paralelo con el receptor, de forma tal, que el conjunto se aproxime lo más posible al comportamiento resistivo puro.

El fundamento de los dispositivos de compensación se encuentra en los efectos opuestos de las bobinas y capacitores. Actualmente, en la industria está muy difundido el empleo de los dispositivos estáticos de compensación fija. Sin embargo, como lo indica su nombre, solo pueden entregar una potencia reactiva de compensación única, por lo que su empleo en cargas variables no es totalmente eficiente. Su aplicación actual está más relacionada con la compensación de receptores individuales de carga constante (Borges, 2005).

### ***Dispositivos estáticos de compensación escalonada***

Los dispositivos estáticos de compensación variable escalonada son los más difundidos en aplicaciones industriales, debido a que posibilitan el mejoramiento del factor de potencia al valor deseado con poca variación en el comportamiento de este, a pesar de la variabilidad del

comportamiento de la carga.

En este caso, la compensación del factor de potencia se realiza por medio de baterías individuales de capacitores, no necesariamente todas ellas de la misma potencia, que son conectadas y desconectadas automáticamente mediante dispositivos de conmutación (contactores, tiristores, IGBT, entre otros) gobernados por un transductor llamado regulador varométrico. Diferentes estrategias se utilizan para el control del dispositivo en el regulador.

Estos dispositivos reciben el nombre de equipos de compensación escalonada, aunque en la industria es más utilizada la denominación de baterías de compensación automática.

El regulador varométrico detecta en cada instante el factor de potencia de la red eléctrica y lo compara con el valor deseado. Si este varía, actúa adecuadamente sobre los dispositivos de conmutación, quienes a su vez conectan (o desconectan) las unidades (capacitores independientes) de forma tal que el factor de potencia vuelva a alcanzar el valor más cercano al prefijado.

Conforme se incrementa a la demanda de la potencia reactiva del receptor, el factor de potencia va disminuyendo, pero el regulador no actúa hasta que se vuelve a alcanzar el valor prefijado. Por esta razón, este tipo de compensación es discreta, ya que el factor de potencia no se mantiene absolutamente constante, sino que varía en determinados límites. Esta es la mayor desventaja de este tipo de dispositivos, ya que, para gran variabilidad de la carga, con pequeños saltos de potencia, el diseño del dispositivo se encarece, debido a la necesidad de incremento de unidades de compensación.

Por otra parte, la selección de este tipo de dispositivos responde a una aplicación concreta,

por lo que deben ser fabricados con carácter exclusivo (Borges, 2005).

### ***Dispositivos estáticos de compensación continua***

Los dispositivos estáticos con regulación continua de la potencia reactiva (SVC) son de más reciente incorporación al mercado. En ellos la regulación se logra de las más disímiles formas empleando bobinas y(o) capacitores estacionarios, combinados con convertidores electrónicos de potencia, que regulan la potencia reactiva en las ramas del circuito de compensación.

En el sistema de control (regulador varmétrico) se utilizan circuitos de disparo para los elementos de potencia. Diversos algoritmos de control se implementan para garantizar la variación de la potencia reactiva del dispositivo, incluso, la variación de las susceptancias por fase. Novedosas aplicaciones han sido controladas por microprocesadores, e incluso, computadoras personales. En este último caso se emplean algoritmos computacionales para la medición de la potencia reactiva, tales como la transformada de Walsch. Este tipo de compensación tiene como objetivo suministrar la potencia reactiva que necesita en cada instante el receptor, de tal forma que el factor de potencia del conjunto tenga siempre el mismo valor prefijado. Estos dispositivos son idóneos para una gran variabilidad de la carga. Son equipos robustos y de bajo nivel de mantenimiento. Adicionalmente a su aplicación en los sistemas eléctricos industriales, se ha difundido su empleo a sistemas de distribución, y transmisión de potencias. Han encontrado aplicación en sistemas de generación no convencionales, tales como parques eólicos, donde la compensación del reactivo por métodos tradicionales resulta lenta. Sin embargo, su utilización aún es restringida debido a su elevado costo en el mercado.

Su principal inconveniente consiste en que el empleo de la electrónica introduce no

linealidades al sistema y, por ende, incrementa los efectos nocivos de la presencia de armónicos en este, a la vez que afecta el propio funcionamiento del equipo. Actualmente se diseñan teniendo en cuenta este inconveniente, incorporándoles filtros de armónicos, lo que encarece aún más su valor comercial.

En la figura 21 se muestra un análisis comparativo entre los diferentes tipos de dispositivos analizados en relación con diversos indicadores de calidad (Borges, 2005).

### ***Dispositivos convertidores de compensación***

En las últimas décadas, el vertiginoso desarrollo alcanzado por la electrónica de potencia, ha posibilitado el diseño de convertidores de potencia que, sin la presencia de bobinas y(o) capacitores estacionarios, logran a través de una estrategia de control censar la demanda de potencia reactiva en la carga y proporcionarle a la misma una corriente reactiva equivalente. En calidad de convertidores de potencia se han empleado inversores de fuente de tensión -VSI's-, restauradores de tensión dinámica -DVR-, convertidores AC-DC o AC-AC,24 filtros de corriente, inversores PMW, convertidores PMW como fuentes de potencia reactiva,35 convertidores AC-fed PMW, entre otros.

Tales dispositivos posibilitan una compensación continua de la potencia reactiva, pero también ocasionan gran distorsión al sistema. Su costo de inversión es aún elevado, en versiones comerciales.

## Figura 21

### *Análisis comparativo entre los dispositivos estadísticos y dinámicos*

<b>Tabla 2</b> <b>Análisis comparativo entre los dispositivos estáticos y dinámicos</b>				
Indicadores	Dispositivos dinámicos	Dispositivos estáticos		
		Fijos	Escalonados	Continuos
Costo de la inversión	Alto	Bajo	Medio	Alto
Pérdidas de potencia	Mayor (150 - 320 W/Ckvar)	Menor (2,5 - 5 W/CkVAr)		
Nivel de mantenimiento	Alto	Bajo	Medio	
Nivel de regulación	Continuo	Ninguno	Medio	Continuo
Nivel de ruido	Alto	Bajo		Medio
Peso del dispositivo	Mayor	Menor	Medio	

### *Elementos y accionamientos empleados en los bancos de capacitares*

Dependiendo del tipo de banco de condensadores a diseñar y/o construir, se tienen en cuenta los siguientes elementos que conforman un banco de condensadores:

**Condensadores Trifásicos:** son los elementos principales y/o fundamentales del banco de capacitores, los cuales servirán como filtro para compensar el factor de potencia, estos se componen de tres condensadores monofásicos, los cuales se encuentran inmersos en un envolvente metálico, estos son del tipo seco. Cada condensador de este tipo posee un sistema de protección contra las sobrepresiones y se encuentran herméticamente sellados, y son considerados pequeños bancos de condensadores.

**Figura 22**

*Condensador Trifásico Tubular. Mc Suministros, 2015.*



**Gabinete:** El Gabinete es la estructura de almacenamiento de los componentes del banco de capacitores, sus dimensiones dependen del tipo de banco de condensadores, de la cantidad de elementos a utilizar según el diseño.

**Figura 23**

*Gabinetes. INDELPA S.A.S, 2021.*



**Contactores:** son elementos que permiten la activación o desactivación de los condensadores paso a paso, con el fin de reducir la potencia reactiva del sistema. Esta activación o desactivación

de condensadores en el sistema produce sobrecorrientes al mismo alcanzando algunas veces hasta 30 veces el valor de la potencia nominal del condensador, con los contactores podemos controlar de forma segura este fenómeno.

**Contactores para condensadores:** Estos contactores se caracterizan por disponer de unos contactos auxiliares equipados con resistencias de pre-carga. Estos contactos se cierran antes que los de potencia y la cresta de conexión es fuertemente limitada por el efecto de las resistencias. A continuación, se cierran los contactos de potencia, dejando de actuar las resistencias durante el funcionamiento normal del condensador. El empleo de estos contactores es altamente recomendable pues limitan muy notablemente las sobrecorrientes.

#### Figura 24

*Contactor para condensadores trifásicos. AUTOMAQ Perú, 2021.*



**Dispositivos de Protección:** Son dispositivos destinados a mantener la continuidad del servicio, evitando posibles daños de los equipos del sistema e inclusive del personal operativo de la planta. Para los bancos de condensadores encontramos dispositivos de protección como totalizadores, interruptores termomagnéticos y fusibles.

**Figura 25**

*Interruptor trifásico termomagnéticos. LEMARELECT, 2021.*



**Controlador automático del factor de potencia:** Son elementos de medida, que permiten configurar, controlar y comandar los bancos de condensadores de forma automática incorporando o sacando condensadores para mantener el factor de potencia en un valor determinado, estos pueden comandar hasta doce (12) pasos, en caso de tener un banco de capacitores de mayor cantidad de pasos, se debe poseer más de uno, siendo el primario un maestro y los demás esclavos.

**Figura 26**

*Controlador del factor de potencia. NDU, 2021.*



Los anteriores son los elementos básicos y fundamentales de los bancos de condensadores, adicionalmente, podemos encontrar más elementos propios de cualquier tablero de control, tales como luces piloto, extractores, transformadores, transformadores de corriente, entre otros.

**3.2.3 Fase 3. Calcular la potencia reactiva a controlar y definir el sistema de control y mecanismos del banco de condensadores que permitan corregir el factor de potencia de la carga en la planta extractora de aceite de palma.** Como se muestra a continuación:

#### *Cálculo de la capacidad del banco de condensadores*

Para realizar este cálculo, es importante conocer la carga que se va a corregir y el factor de potencia actual.

Los siguientes datos fueron suministrados por L&J Engineering Solution S.A.S. empresa encargada del diseño eléctrico de la planta extractora Vitis Olei S.A.S.

**Tabla 1.**

#### *Cálculo de la capacidad del banco de condensadores*

<b>Ítem</b>	<b>Detalle</b>	<b>Carga</b>
1	Subestación eléctrica bajo red convencional a 13.800 Voltios.	1800 KVA
2	Turbogenerador	900 KVA
1	Plantas eléctricas Diesel	700 KVA
	<b>Total Carga</b>	<b>3600 KVA</b>

Se estima que se tendrá un factor de potencia inicial de 0.75, un factor de potencia bajo, debido a las distancias de los motores, con relación al Cuarto de Control Motores (CCM), tipos de arranque de los motores y diversos fenómenos como incidencia de rayos en la zona.

Teniendo en cuenta, la ecuación 12 y la tabla 1 del presente documento, se procede a

calcular la potencia reactiva a corregir ( $Q_c$ ).

$$Q_c = P * \text{Factor } K$$

Conocedores de que el factor de potencia es el coseno  $\phi$ , y que, según el triángulo de potencias, mostrado en la figura, tenemos que:

$$P = \text{Factor de potencia} * S$$

Donde  $S$ , es la carga a corregir y tiene un valor de 1800 KVA.

Por lo tanto, tenemos:

$$P = 0.75 * 1800$$

$$P = 1350 \text{ KWatts}$$

$$Q_c = 1312.5 * 0.553$$

$$Q_c = 746.55 \text{ KVAR}$$

Se toma únicamente el valor de la potencia aparente de la subestación, ya que los grupos electrógenos son equipos de respaldo en caso de que no hubiera servicio en la subestación.

Se estima entonces diseñar un banco de condensadores de 746.55 KVAR, por criterio de diseño y teniendo en cuenta las buenas prácticas de ingeniería, se diseñará un banco de condensadores de 760 KVAR.

**Selección del tipo de banco de condensadores a utilizar y elementos y/o accionamientos del sistema.** Por solicitud del cliente final Extractora Vitis Olei S.A.S. se

diseñará un banco de condensadores automático, esta es una opción ideal, dado que, al tener un controlador del factor de potencia, se estará conectando y desconectando, mediante los contactores a los condensadores trifásicos conforme sea necesario y se mantendrá un factor de potencia lo más cercano a lo prefijado, en este caso de 0.98.

Componentes:

**Controlador del Factor de Potencia:** este medirá el factor de potencia inicial de la instalación y dará las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al objetivo (0.98), conectando los distintos escalones (pasos) de potencia reactiva, compensando el sistema. De acuerdo al diseño se necesitará una potencia reactiva total de 720 KVAR, lo cual se conseguirá mediante 19 condensadores trifásicos de 40 KVAR. Adicional, como lo solicita el cliente, se pretende realizar ampliaciones futuras, se dejará espacio en el tablero del banco de condensadores para 5 pasos más, que dependiendo de la demanda de la carga que se requiera en ese momento, serán calculados los condensadores necesarios.

Debido a la estandarización de planta, se seleccionarán equipos marca Siemens, en este caso se seleccionarán, dos controladores de factor de potencia, de los cuales uno será utilizado como maestro y el otro como esclavo, es decir, el esclavo dependerá de una señal que envíe el maestro para poder entrar en funcionamiento.

Se seleccionarán dos medidores (Controladores de Factor de Potencia) SENTRON PAC 3200 Siemens, medidores con display LCD y backlight, de fácil configuración por medio de teclado frontal.

Características:

## Figura 27

*Características Sentron PAC 3200. Siemens 2017.*

	480VAC	690VAC	690VAC
Voltaje de Medición Ue			
Voltaje VF-F; VF-N, Corriente I1, I2, I3, In	si	si	si
Potencia Aparente, Reactiva y Activa a,b,c y total	si	si	si
Potencia Total Aparente, activa y reactiva	si	si	si
Potencia Activa y Reactiva acumulada	si		si
Potencia Total Activa y reactiva con valor sobre el periodo		Si, Valor medio	Si Medio Raiz del cuadrado
Factor de Potencia Total	si	si	si
Factor de Potencia PFa/PFb/PFc		si	si
Angulo de desplazamiento			si
Frecuencia	si	si	si
Valores máximos y mínimos V, I, W, VAR, VA, PF, f		si	si
Energía activa y reactiva	si	si	si
Energía aparente		si	si
THD voltaje F y corriente L con valor máximo		si	si
THD voltaje F-F y F-N valor máximo			si
Gráfico del contenido de armónicos			hasta el 31st
Contador universal		1	2
Contador de horas de servicio		si	si
Desbalance de Voltaje y Corriente		si	si
Valores límites para monitoreos			12
Parametrización de fecha y hora			si
Memoria de eventos			4096 eventos
Accuracy	1-2%	0,50%	0,20%
Comunicación Profibus DP		Opcional con módulo adicional	Opcional con módulo adicional
Comunicación Modbus RS 485	si	Opcional con módulo adicional	Opcional con módulo adicional
Comunicación Ethernet MODBUS TCP		si	si
Entradas y salidas digitales	2 DI, 2DO	2 DI, 2DO	4 DI, 2DO
Función de gateways a ethernet			si
Grabación de la demanda de potencia			si

Código: 100020165

Equipo de Medición: 7KM2112-0BA00-3AA0

Voltaje: 90 – 240 VAC y 140 – 340 VDC +/- 10%

Frecuencia: 50/60 Hz

Aunque dentro del catálogo Siemens, encontramos 3 tipos de controladores de factor de potencia, se selecciona el SENTRON PAC 3200, teniendo en cuenta la siguiente tabla comparativa, según las necesidades y características tanto del proyecto, como de los equipos.

**Tabla 2.**  
**Necesidades y características**

Ítem	Equipo	Ventajas frente al proyecto	Desventajas frente al proyecto
1	SP3100	Equipo económico. Sus características de voltaje y frecuencia se adaptan al proyecto.	Posee un display LCD de control, que no permite ver gráficos en el mismo. Este equipo permite la manipulación máxima de 30 variables, lo cual no es viable dentro del proyecto, ya que manejaremos un promedio de 35 variables en el sistema. No permite la comunicación con otros controladores de factor de potencia.
2	SP3200	Equipo con un precio estándar. Sus características de voltaje y frecuencia se adaptan al proyecto. Posee display LCD gráfico, que permite visualizar además de las variables del sistema, los comportamientos gráficos de las mismas. Permite la manipulación de hasta 50 variables del sistema. Permite la comunicación con otros controladores del factor de potencia.	Para el desarrollo del presente proyecto no se presentan desventajas en este equipo.
3	SP4200	Equipo con un precio alto, con relación a la magnitud del proyecto. Sus características de voltaje y frecuencia se adaptan al proyecto. Posee display LCD gráfico, que permite visualizar además de las variables del sistema, los comportamientos gráficos de las mismas. Permite la manipulación de hasta 200 variables del sistema. Permite la comunicación con otros controladores del factor de potencia.	Es un equipo sobredimensionado para el desarrollo del presente proyecto.

Se empleará también un módulo de comunicación Modbus entre los dos dispositivos

controladores del factor de potencia y el software Powermanager V3.0 para la programación de los mismos.

Características:

Módulo de Comunicación Modbus

Código: 100020167

Equipo: 7KM9300-0AM00-0AA0

Software PowerManager V3.0

Código: 100200688

Equipo: 3ZS2711-0CC30-0YA0

### ***Programación de los Controladores***

Para la programación de los controladores, se empleará el software PowerManager V3.0, en él se deben instalar los siguientes parámetros de programación:

El Factor de potencia deseado en la instalación, para el presente proyecto es de 0.98.

La Sensibilidad, la cual es la relación  $C/K$ , estos datos son únicos en la instalación y no es posible programarlos de fábrica. El controlador es el componente que define la entrada o salida de los distintos escalones de potencia, teniendo en cuenta 3 parámetros: El factor de potencia deseado en la instalación, el factor de potencia que existe en un determinado momento en la instalación y la intensidad del primer escalón, el cual marca la regulación mínima de nuestro banco de condensadores. Esta entrada de intensidad al regulador, se efectúa siempre a través de un TC (Transformador de Corriente) de relación  $X/5$ , para que el controlador pueda tomar la decisión de conectar o desconectar un escalón, debe conocer la intensidad reactiva que va a incluir en el sistema.

Esta relación  $C/K$ , se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{C}{K} = \frac{Q_1}{V\sqrt{3}} \cdot RTC$$

Donde:

C/K= Sensibilidad

Q1= Potencia reactiva del primer escalón en VAR

V= Tensión Fase-Fase

RTC= Relación TC(X/5)

Comunicación Modbus entre PAC SENTRON

Se debe instalar el módulo de comunicación y conectarlo entre ambos equipos PAC SENTRON, en la opción de la configuración de los PAC's se debe configurar uno como MASTER y el otro como SLAVE, esto permite la continuidad de los pasos entre un PAC y el otro, simplemente cambiaría el Q1 de la programación de la sensibilidad, es decir para el PAC MAESTRO Q1 sería 40 KVAR y para el PAC SLAVE 520 KVAR.

Voltaje, en este caso el voltaje que alimenta el sistema trifásico de contactores y condensadores será a 440 VAC, pero el voltaje que alimenta los sistemas de control en el banco de condensadores será a 220 VAC, por lo tanto, se debe ser cuidadoso al momento de programar el voltaje.

Los TC's a seleccionar serán de 2500/5<sup>a</sup>

**Tabla 3.**  
**Los TC's**

Ítem	Detalle	Vff (V)	Q (KVAR)	RTC	C/K
1	Paso 1	440	40	500	1.051*10 <sup>-4</sup>
2	Paso 2	440	80	500	2.10*10 <sup>-4</sup>
3	Paso 3	440	120	500	3.15*10 <sup>-4</sup>
4	Paso 4	440	160	500	4.20*10 <sup>-4</sup>
5	Paso 5	440	200	500	5.25*10 <sup>-4</sup>
6	Paso 6	440	240	500	6.30*10 <sup>-4</sup>
7	Paso 7	440	280	500	7.35*10 <sup>-4</sup>
8	Paso 8	440	320	500	8.40*10 <sup>-4</sup>
9	Paso 9	440	360	500	9.45*10 <sup>-4</sup>
10	Paso 10	440	400	500	10.50*10 <sup>-4</sup>
11	Paso 11	440	440	500	11.55*10 <sup>-4</sup>
12	Paso 12	440	480	500	12.6*10 <sup>-4</sup>
13	Paso 13	440	520	500	13.65*10 <sup>-4</sup>
14	Paso 14	440	560	500	14.7*10 <sup>-4</sup>
15	Paso 15	440	600	500	15.75*10 <sup>-4</sup>
16	Paso 16	440	640	500	16.8*10 <sup>-4</sup>
17	Paso 17	440	680	500	17.85*10 <sup>-4</sup>
18	Paso 18	440	720	500	18.9*10 <sup>-4</sup>
19	Paso 19	440	760	500	19.95*10 <sup>-4</sup>

Tiempo de Reconexión: Se fijará un tiempo de reconexión mínimo necesario para la descarga del banco de condensadores, este será de 60 segundos, tiempo estimado para la descarga del banco de condensadores, seleccionado según las buenas prácticas de la ingeniería en este tipo de proyectos.

**Condensadores para la corrección del factor de potencia:** De acuerdo a lo calculado anteriormente y en el que se va a necesitar corregir como máximo una potencia reactiva total de 720 KVAR, lo cual se conseguirá mediante 19 condensadores trifásicos de 40 KVAR. Esto dado a solicitud de la empresa, en el que, según históricos, los equipos y máquinas agrupadas en diferentes áreas producen topes parciales de 40kVAR como máximo.

El cálculo de la corriente nominal, para la selección de los condensadores se muestra a continuación:

$$I_n = \frac{KVAR}{KV * \sqrt{3}}$$

$I_n$  = Corriente nominal de los condensadores trifásicos a elegir.

KVAR = Potencia reactiva necesaria de cada condensador

KV = Voltaje de operación

$$I_n = \frac{40}{0.44 * \sqrt{3}}$$

$$I_n = 52.55 \text{ A}$$

Por catálogo Siemens, el condensador de corriente nominal superior a 52.55 A y de 40 KVAR, no existe, por lo tanto, se seleccionan dos condensadores de 20 KVAR de corriente nominal de 26.3 A. Lo cual es acorde a los cálculos realizados.

## Figura 28

*Catálogo de Condensadores trifásicos. Siemens, 2017.*

No. de Depósito	Descripción				Precio Lista Unid. - col. \$(*)	
	<p><b>Garantía 1 año</b></p> <p><b>Condensadores Phicap</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Autoregenerativos</li> <li>- Con dispositivo de protección contra sobrepresión</li> <li>- Temperatura de operación: -25... + 55 °C</li> <li>- Sobrevoltajes máximos permitidos:</li> <li>- Conexión a través de bornes</li> <li>- Protección mecánica IP20 - Vida útil: 100.000 horas</li> <li>- Incluye resistencia de descarga</li> </ul> <p>Para saber la potencia efectiva de los condensadores se debe tener en cuenta lo siguiente:</p> $Q_e = Q_n \frac{V_e^2}{V_n^2}$					
	<b>Tipo</b>	<b>Potencia Nominal KVAR (Qn)</b>	<b>Corriente A</b>	<b>Tensión Nominal (Vn)</b>	<b>Tensión sugeridas de instalación (Ve)</b>	
	<b>Tensión Nominal: 220V-60Hz</b>					
100093251	B32344-D2051-Z020	5	13,1	220	208	412.200
100245504	B32344-E2071-Z520	7,5	19,7	220	208	512.300
100093252	B32344-D2101-Z020	10	26,3	220	208	650.400
100235619	B32344-E2121-Z520	12,5	32,8	220	208	681.300
	<b>Tensión Nominal: 440V-60Hz</b>					
100093253	B32343-C4051-Z040	5	6,6	440	380/400	176.100
100093254	B32344-D4101-Z040	10	13,1	440	380/400	369.200
100093255	B32344-D4151-Z040	15	19,7	440	380/400	470.300
100093256	B32344-D4201-Z040	20	26,3	440	380/400	574.700
100093257	B32344-D4251-Z040	25	32,8	440	380/400	686.100

**Contactores para Condensadores:** para la selección de estos equipos, se debe tener en cuenta la corriente nominal de los mismos, su tensión de operación y la potencia reactiva de los condensadores, en este caso seleccionaremos el modelo 3RT1647-1AN21 por catálogo, ya que es el que se ajusta más a los requerimientos del presente proyecto.

### Figura 29

*Catálogo de contactores para condensadores. Siemens, 2017.*

	Tipo	Bobina (VAC)	Tamaño	Potencia (KVAR)			Cont. Aux. Integrados	
				220V	440V	480V		
<b>Contactores para accionamiento de Condensadores (Con resistencia de precarga)</b>								
100015063	3RT1617-1AF03	110	S00	7.5	12.5	15.0	1NA + 1NC	333.000
100015254	3RT1617-1AN23	220	S00	7.5	12.5	15.0	1NA + 1NC	333.000
100015255	3RT1627-1AN21	220	S0	15.0	25	30.0	1NA	516.000
100015256	3RT1647-1AN21	220	S3	30.0	50	60.0	1NA	1.086.000

**Protecciones:** en este caso seleccionaremos una protección (interruptor termomagnéticos), teniendo en cuenta la corriente nominal calculada de 52.55 A, por catálogo Siemens, seleccionaremos el 3VL1708-1DD33-0AA0. Debido a las buenas prácticas de ingeniería se selecciona el de corriente de cortocircuito de 1000 A, con el fin de evitar fallas futuras por aumentos de corrientes de falla, por ende, aunque se vea más viable seleccionar el interruptor termomagnéticos 3VL1706-1DD33-0AA0, debido a que su corriente de cortocircuito es de 600 A, no lo tomaremos en cuenta.

Figura 30

Catálogo de protecciones. Siemens, 2017.

No. de Depósito	Descripción		Precio Lista Unit. - Col. \$(*)						
			<input checked="" type="checkbox"/> Interruptores limitadores de corriente, tiempo de disparo 4 ms.						
	Tipo	Unidad de disparo	Regulación (A)		Capacidad de ruptura Simétrica (KA)				
			Térmica	Cortocircuito	220/240V	440V	480V	500V	
			L	I					
	Interruptores con unidad de disparo termomagnética regulable, capacidad de ruptura normal								
100021451	3VL1702-1DD33-0AA0	TM - LI	16 - 20	300	65	25	25	18	707.500
100021324	3VL1703-1DD33-0AA0	TM - LI	25 - 32	300	65	25	25	18	707.500
100021433	3VL1704-1DD33-0AA0	TM - LI	30 - 40	600	65	25	25	18	707.500
100021453	3VL1705-1DD33-0AA0	TM - LI	40 - 50	600	65	25	25	18	707.500
100021329	3VL1706-1DD33-0AA0	TM - LI	50 - 63	600	65	25	25	18	707.500
100021457	3VL1708-1DD33-0AA0	TM - LI	63 - 80	1000	65	25	25	18	789.800
100021331	3VL1710-1DD33-0AA0	TM - LI	80 - 100	1000	65	25	25	18	789.800
100021435	3VL1712-1DD33-0AA0	TM - LI	100 - 125	1000	65	25	25	18	1.263.700
100021423	3VL1716-1DD33-0AA0	TM - LI	125 - 160	1500	65	25	25	18	1.613.100
100021381	3VL3720-1DC36-0AA0	TM - LI	160 - 200	1000 - 2000	65	25	25	25	1.944.900
100021387	3VL3725-1DC36-0AA0	TM - LI	200 - 250	1250 - 2500	65	25	25	25	2.331.400
100021424	3VL4731-1DC36-0AA0	TM - LI	250 - 315	1575 - 3150	65	35	35	25	3.413.200
100021429	3VL4740-1DC36-0AA0	TM - LI	315 - 400	2000 - 4000	65	35	35	25	3.413.200
100020917	3VL5750-1DC36-0AA0	TM - LI	400 - 500	2500 - 5000	65	35	25	25	6.865.200
100020925	3VL5763-1DC36-0AA0	TM - LI	500 - 630	3250 - 6300	65	35	25	25	6.992.900

Para el cálculo del interruptor principal, realizaremos la multiplicación de 19 pasos, por la cantidad de amperios mínimos seleccionados en cada interruptor por paso.

Así, la corriente del interruptor principal será:

$$I_{ip} = 19 * 63A$$

$$I_{ip} = 1197 A$$

Por catálogo Siemens Seleccionamos el 3VL7712-1SL36-0AA0, ya que representa un interruptor de corriente regulable desde 500 A a 1250 A.

**Figura 31**

*Catálogo de interruptores. Siemens, 2017.*

Interruptores con unidad de disparo electrónica regulable, capacidad de ruptura normal									
100021021	3VL5763-1SB36-0AA0	ETU - LI	252 - 630	1,25... 10 x In	65	35	25	25	7.432.000
100021012	3VL6780-1SB36-0AA0	ETU - LI	320 - 800	1,25... 8 x In	65	35	25	25	10.063.000
100147672 <sup>1)</sup>	3VL7710-1SL36-0AA0	ETU - LIG	400 - 1000	1,25... 11 x In	65	35	25	25	13.318.400
100147673 <sup>1)</sup>	3VL7712-1SL36-0AA0	ETU - LIG	500 - 1250	1,25... 11 x In	65	35	25	25	15.388.900
100147680 <sup>2)</sup>	3VL8716-1SL30-0AA0	ETU - LIG	650 - 1600	1,25... 9 x In	65	35	25	25	18.790.500

Estos, son los elementos principales para tener un banco de condensadores que cumple con los requerimientos del cliente final EXTRACTORA VITIS OLEI S.A.S. A continuación, se presentan los demás elementos complementarios del banco de condensadores, necesarios para el funcionamiento del mismo.

**Tabla 4.**  
*Elementos principales de banco de condensadores*

Ítem	Detalle	Función	Unidad	Cantidad
1	Platina trifásica de cobre 120 mm*10mm, corriente 1250 A, Voltaje 440 V.	Conductor en el tablero banco de condensadores, el cual se alimentará desde un tablero de distribución principal, y será el alimentador de los componentes del banco de condensadores	mts	5
2	Canaleta ranurada 70*100mm para tableros de control	Elemento que se empleará para cubrir y proteger el cableado de control del banco de condensadores.	Und	20
3	Transformador de 440V/220V 2KVA	Transformador utilizado para convertir 440V a 220V para alimentar los elementos de control a 220 V	Und	1
4	Transformador de 220V/110V 500VA	Alimentación de elementos a 110 V del tablero banco de condensadores	Und	1
5	Luz piloto color verde 220 V	Luces que indicarán el paso que se encuentre activado en el banco de condensadores	Und	19
6	Muletillas dos posiciones	Muletillas para activar Manual o Automático, según se requiera operar.	Und	19
7	Ventilador 110V	Refrigeración del banco de condensadores	Und	3

Ítem	Detalle	Función	Unidad	Cantidad
8	Extractor 110 V	Refrigeración del banco de condensadores	Und	3
9	Luces de neón 110 V	Iluminación banco de condensadores	Und	3
10	Hongo pulsador Rojo	Pulsador para paro de emergencia del banco, el cual apagará todo el sistema.	Und	1
11	Rejillas	Rejillas para extractores y ventiladores	Und	6

### *Diseño físico del banco de condensadores*

#### **Figura 32**

##### *Vista Frontal Externa*

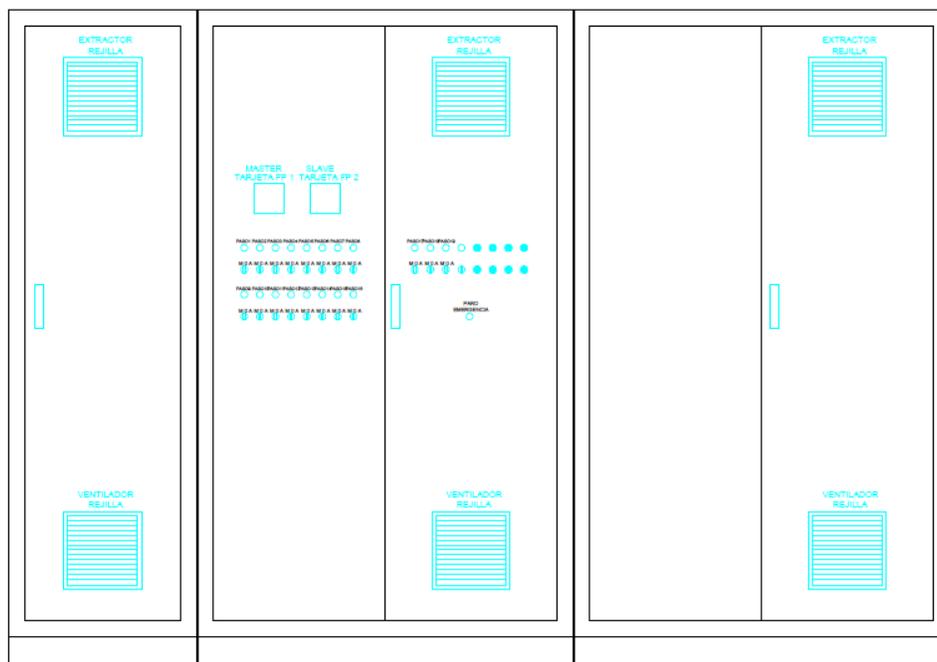


Figura 33

Vista Frontal Interna (medidas en mm)

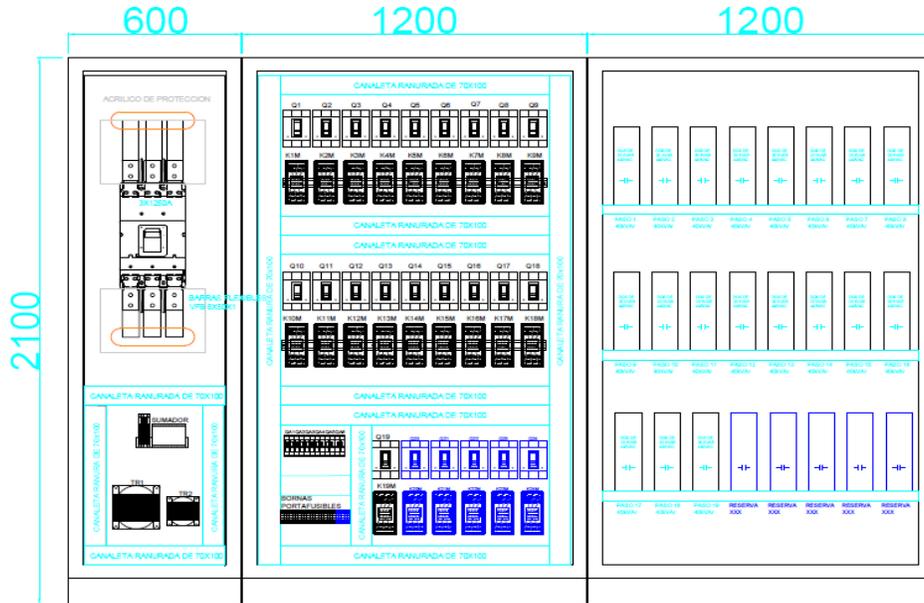


Figura 34.

Vista Posterior

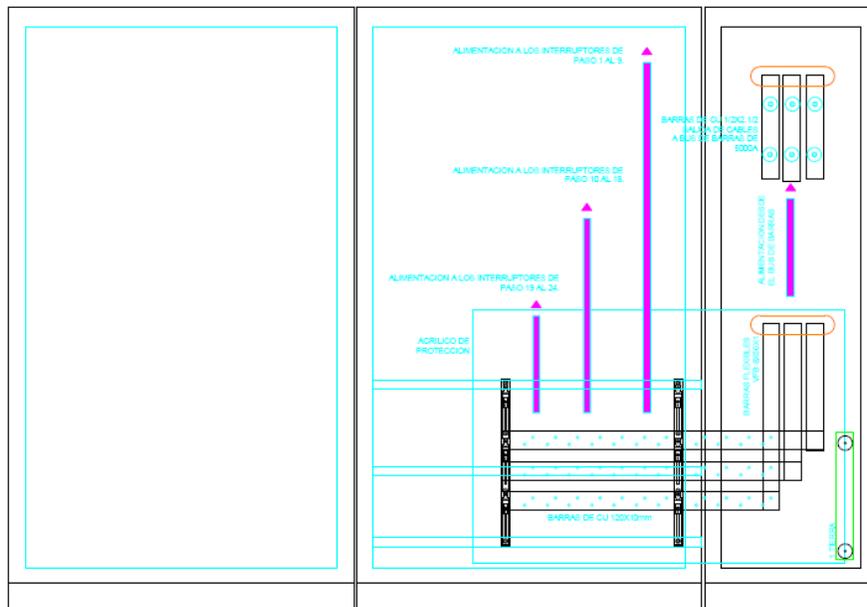


Figura 35

Esquema de Potencia 1

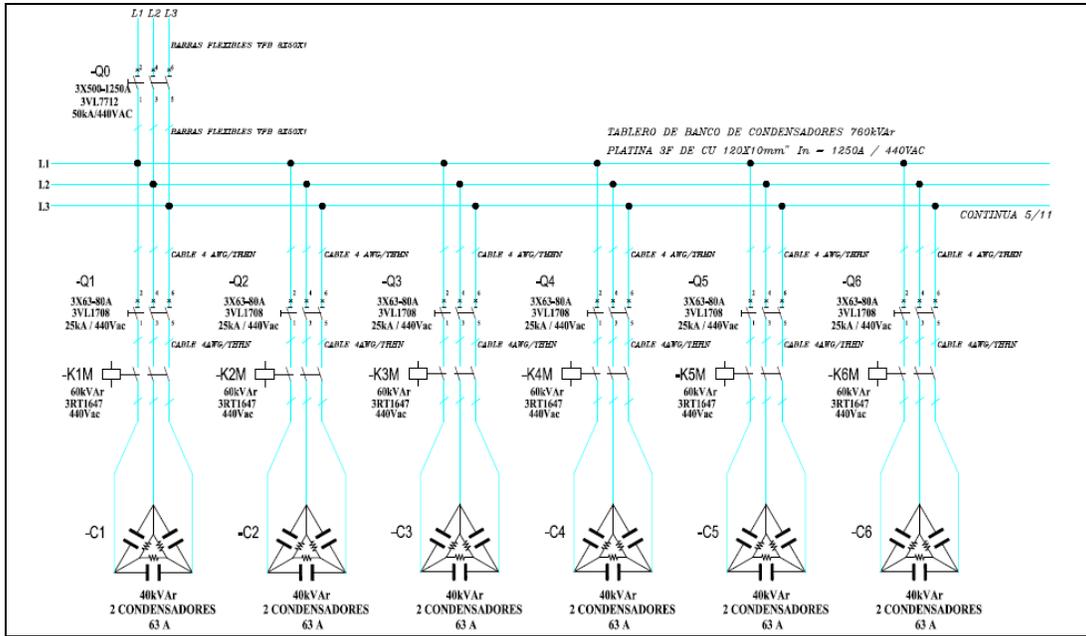


Figura 36.

Esquema de Potencia 2

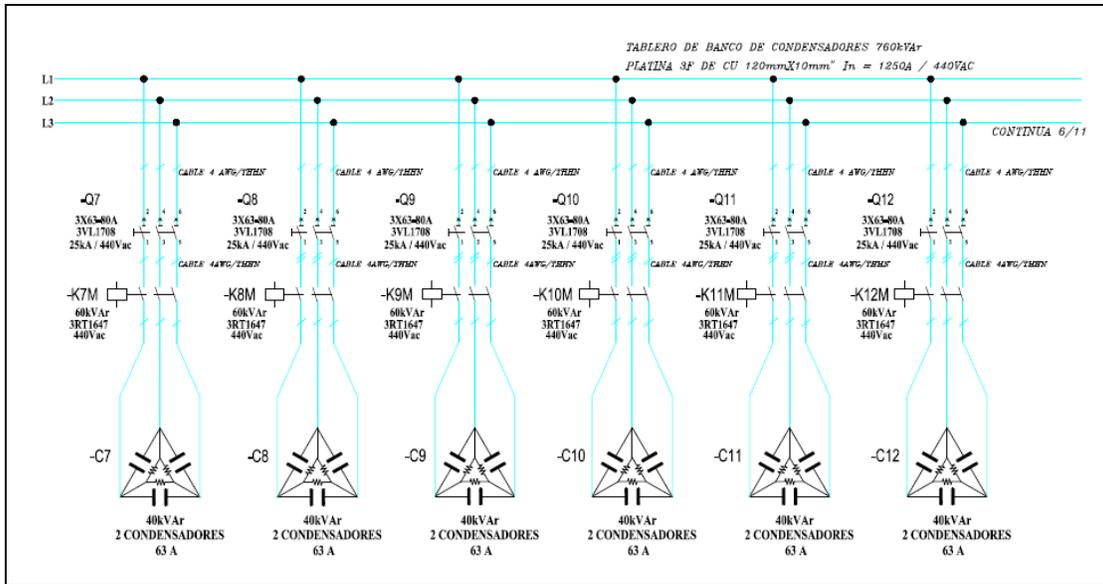


Figura 37

Esquema de Potencia 3

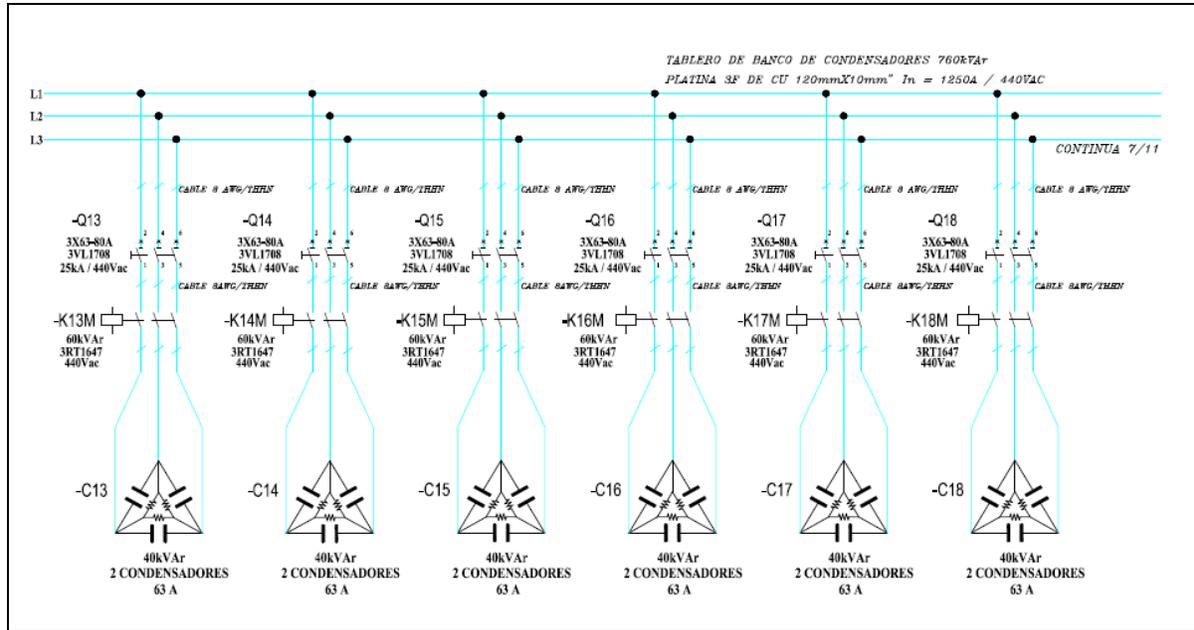
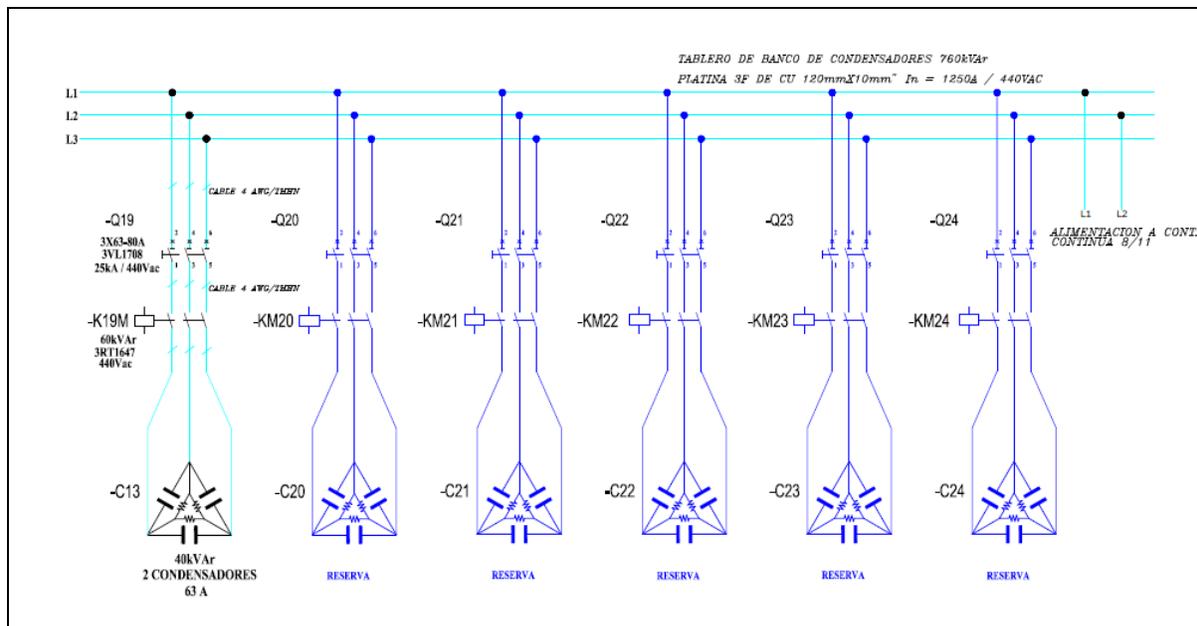


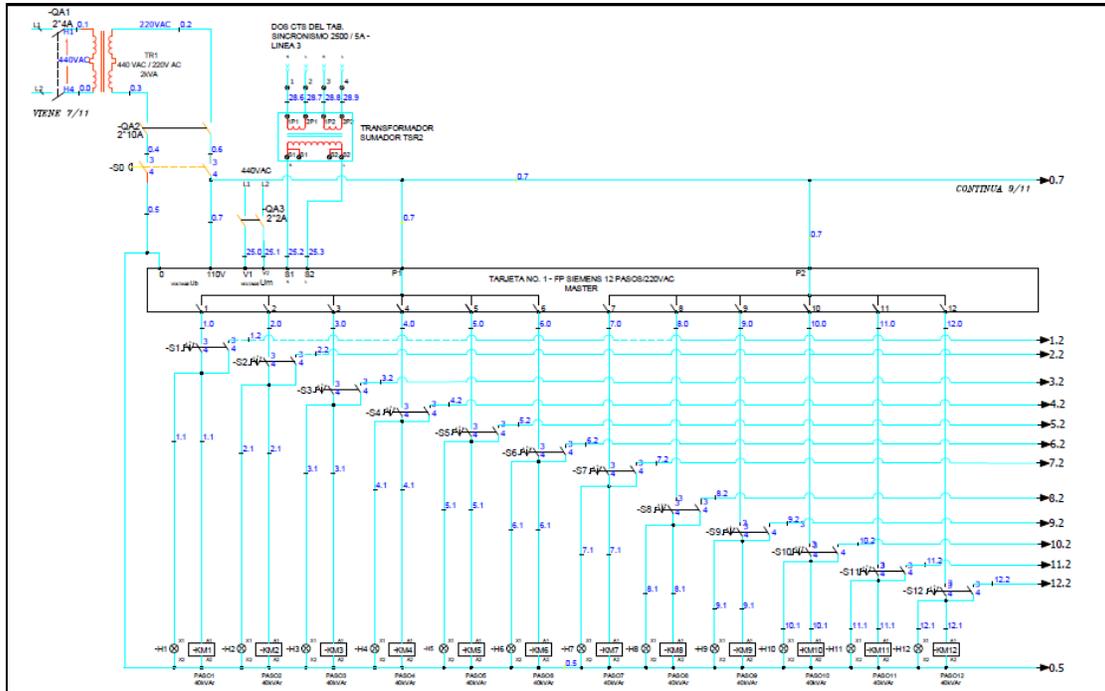
Figura 38

Esquema de Potencia 4



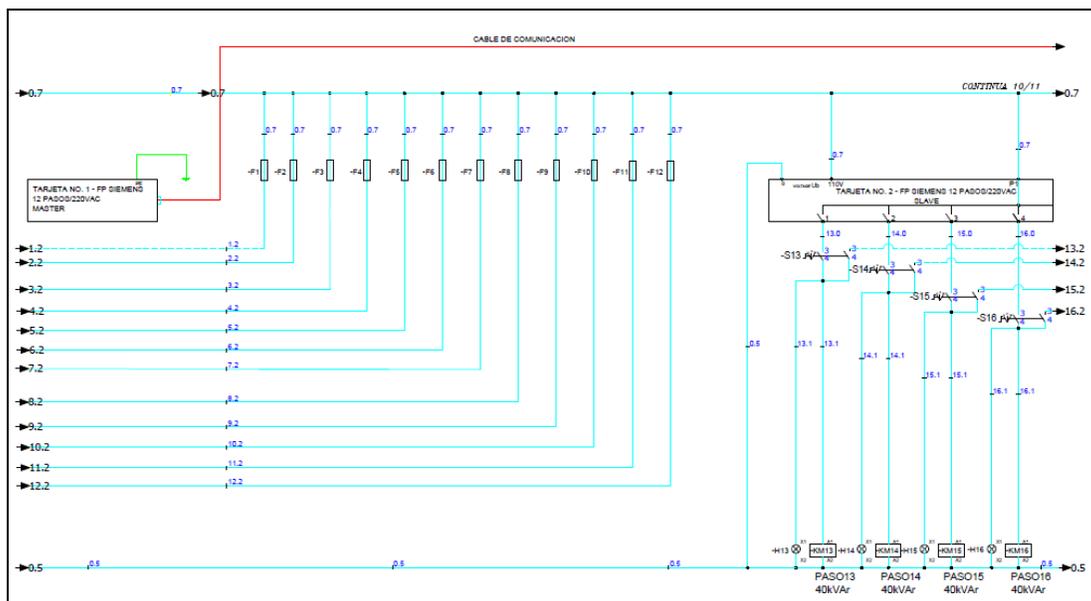
**Figura 39**

*Esquema de Control 1*



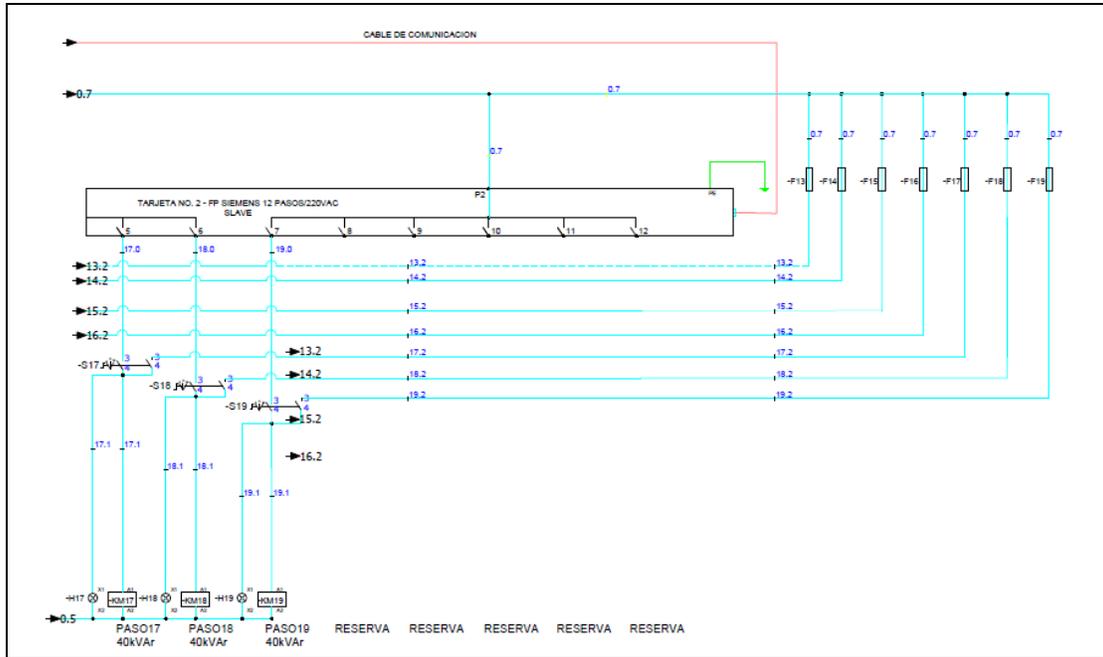
**Figura 40**

*Esquema de Control 2*



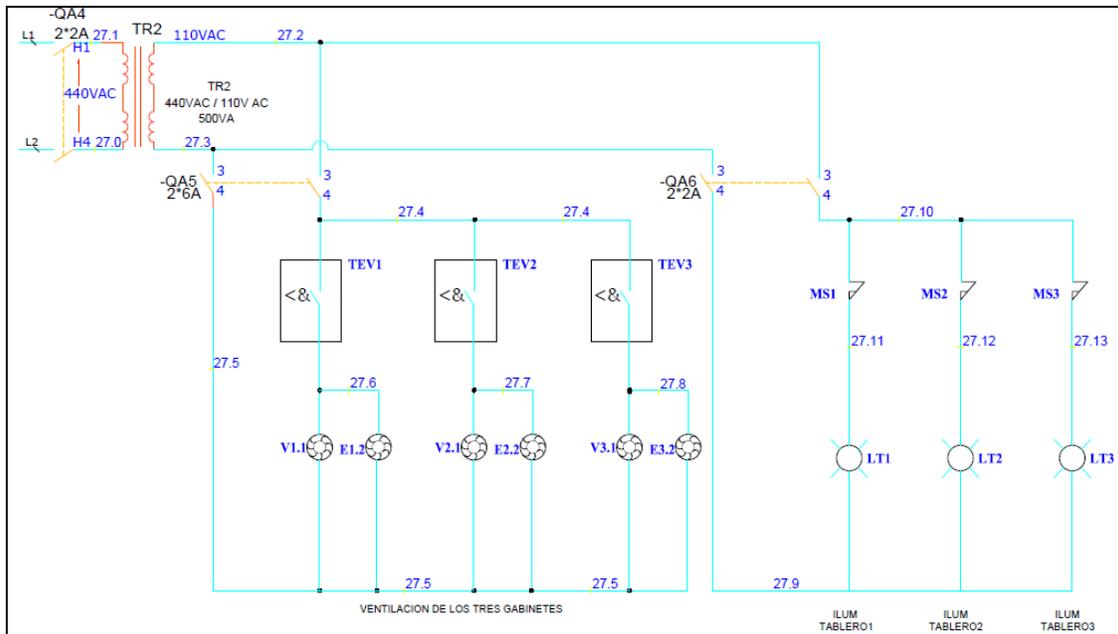
**Figura 41**

*Esquema de Control 3*



**Figura 42**

*Esquema de Control 4*



## Capítulo 4. Conclusiones

La mayoría de cargas industriales en la empresa Extractora Vitis Olei S.A.S. son de carácter reactivo, lo cual obliga a la industria a suministrar potencia reactiva por sus conductores, que en conjunto con la potencia activa determinan el comportamiento de dichas cargas. Motivo por el que se hace necesaria la instalación de estos equipos de compensación.

Las variaciones de voltaje y las pérdidas en instalaciones eléctricas influyen directamente en el factor de potencia de manera negativa y este a su vez en el rendimiento y funcionamiento de los equipos que se encuentran conectados a la red. Aumentando así las caídas de tensión en la red.

Para que la corrección del factor de potencia sea más precisa, es necesario dimensionar un banco de condensadores con un número mayor de pasos, pero esto a su vez incrementará el costo de la instalación.

Dado que se trata de un sistema en el que los condensadores entran y salen de operación automáticamente, se debe prever tener especial cuidado en la selección de estos, ya sea por modificaciones nuevas o por mantenimiento, esto dado las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen.

Un bajo factor de potencia limita la capacidad de los equipos con el riesgo de incurrir en sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas con dispendio de energía.

La corrección en bajo voltaje permite la liberación de carga o KVA en los transformadores, lo cual permitirá añadir una carga adicional para futuras aplicaciones.

El sistema instalado cumplió con lo establecido en el plan de proyecto que es la corrección del factor de potencia de la empresa y cliente final Extractora Vitis Olei S.A.S.

## Capítulo 5. Recomendaciones

Se debe tener en cuenta el balanceo de cargas en las líneas de distribución; el dimensionamiento de los conductores eléctricos, selección y operación correcta de los equipos.

Antes de instalar capacitores eléctricos, se debe tener en cuenta los siguientes factores: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, tensión de las líneas de distribución, entre otros.

En este tipo de industrias es recomendable emplear bancos de condensadores automáticos ya que se garantiza mayor vida útil de estos dispositivos.

No instalar los condensadores cerca de superficies que emanen calor cuya temperatura sea superior a la del ambiente.

Evaluar y analizar los diferentes tipos de cargas y emplear bancos automáticos de condensadores cuando las variaciones de las cargas sean significativas.

Instalar el banco de condensadores lo más cerca posible de la carga a compensar, para obtener mayores beneficios al corregir el factor de potencia.

La medición y facturación de la demanda en KVA, propiciará un ahorro real de energía porque los usuarios compensarán correctamente su factor de potencia, se disminuirán las pérdidas en las instalaciones y equipos. La empresa distribuidora de energía tendrá menos necesidad de invertir en instalaciones y equipos adicionales.

Se debe realizar un estudio de carga de manera más minuciosa, para poder determinar el banco de condensadores necesario a ser utilizado.

## Referencias

- Arrieta, S. (2002). *Ubicación óptima de bancos de capacitores en sistemas de potencia*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Automaq Perú. (2021). *Contactor para condensador LC1DGKM7 230V - 9 KVAR*. Recuperado de: [http://automaqperu.com/ver\\_producto\\_marca.php?ip=1836&ipp=1691](http://automaqperu.com/ver_producto_marca.php?ip=1836&ipp=1691)
- Boletín Técnico LEYDEN. (2008). *El factor de potencia y su compensación en instalaciones de baja tensión*. Recuperado de: [https://www.academia.edu/8303432/leyden\\_bolet%c3%adn\\_t%c3%a9cnico\\_el\\_factor\\_de\\_potencia\\_y\\_su\\_compensacion\\_en\\_instalaciones\\_de\\_baja\\_tension](https://www.academia.edu/8303432/leyden_bolet%c3%adn_t%c3%a9cnico_el_factor_de_potencia_y_su_compensacion_en_instalaciones_de_baja_tension)
- Duncan, J. & Mulukutla, S. (2008). *Sistemas de potencia análisis y diseño*. Recuperado de: <https://www.freelibros.me/electronica/sistemas-de-potencia-analisis-y-diseno-3ra-edicion-j-duncan-glover-mulukutla-s-sarma>
- Gómez, E. (2009). *Compensación de potencia reactiva*. México: ESIME.
- Harper, E. (2008). *El libro practico de los generadores, transformadores y motores*. Recuperado de: <https://www.gandhi.com.mx/el-libro-practico-de-los-generadores-transformadores-y-motores-electricos>
- Harper, G. (2008). *Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales*. Recuperado de: <http://opusmexico.com/wp-content/uploads/2019/04/El-ABC-De-Las-Instalaciones-Elctricas-Residenciales-Gilberto-Enriquez-Harper.pdf>

Hermosa, A. (2008). *Principios de electricidad y electrónica*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/37533040/Principios\\_de\\_Electricidad\\_y\\_Electronica\\_I\\_Antonio\\_Hermosa\\_Donate](https://www.academia.edu/37533040/Principios_de_Electricidad_y_Electronica_I_Antonio_Hermosa_Donate)

Indelpa S.A.S. (2021). *Página principal*. Recuperado de: <http://www.indelpa.com/>

Lemarelect. (2021). *Página principal*. Recuperado de: <https://www.lemarelect.com/blank-yt8ki>

Llummyquina, F. (2012). *Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Bachisfood*. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.

Mc Suministros. (2014). *Condensador Tubular de Potencia Reactiva*. Recuperado de:

<http://mcsuministros.com/categorias/materiales-electricos/condensador-tubular/>

Packman, E. (2013). *Mediciones Eléctrica*. Madrid: ARBO.

Polimeni, H. (2010). *Documentos de Cátedra*. Recuperado de: [http://fullseguridad.net/wp-](http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/01/Contabilidad-de-costos-3ra-Edici%C3%B3n-Ralph-S.-Polimeni.pdf)

[content/uploads/2017/01/Contabilidad-de-costos-3ra-Edici%C3%B3n-Ralph-S.-](http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/01/Contabilidad-de-costos-3ra-Edici%C3%B3n-Ralph-S.-Polimeni.pdf)

[Polimeni.pdf](http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/01/Contabilidad-de-costos-3ra-Edici%C3%B3n-Ralph-S.-Polimeni.pdf)

Ruggero, B. (2014). Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución.

*Revista Científica de la UCSA, I(1), 33-51.*

Sanchez, P. (2008). *Compensación por Bancos de Capacitores en un Sistema Eléctrico de*

*Potencia*. Recuperado de:

[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/700/1/Tesis%20Carlos%20G](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/700/1/Tesis%20Carlos%20Garza%20Correa%2C%20Roberto%20Martinez%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Sergio%20)

[arza%20Correa%2C%20Roberto%20Martinez%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Sergio%20](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/700/1/Tesis%20Carlos%20Garza%20Correa%2C%20Roberto%20Martinez%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Sergio%20)

Ramon%20Molina.pdf

Sanjurjo, R. (2012). *Maquinas Eléctricas*. Bogota: Mc GRAW HILL.

Santana, G. (2011). *Estudio para la corrección del factor de potencia en BT del sistema eléctrico de la planta FORD*. Tesis de grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Siemens. (2017). *Catálogo de protecciones*. Recuperado de:

<https://www.nalelectricos.com.co/archivos/Catalogo-Siemens%20.pdf>

Soluciones Eléctricas. (2021). *Soluciones a la medida de sus necesidades*. Recuperado de:

<http://www.ndu.cl/>