



**DISEÑO DE UN BANCO DE CARGAS ELÉCTRICAS PARA LA EMPRESA  
PROTECCIÓN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL S.A.S. DE LA CIUDAD DE  
BOGOTÁ DC, DANDO SELECCIÓN, ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS Y  
PROTECCIONES ELÉCTRICAS.**

**Autor:**

**JAIR FABIAN JOYA BONILLA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO MMI  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER  
2020**



**DISEÑO DE UN BANCO DE CARGAS ELÉCTRICAS PARA LA EMPRESA  
PROTECCIÓN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL S.A.S. DE LA CIUDAD DE  
BOGOTÁ DC, DANDO SELECCIÓN, ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS Y  
PROTECCIONES ELÉCTRICAS.**

**Autor:  
JAIR FABIAN JOYA BONILLA**

**MONOGRAFÍA**

**Director:  
MSC. DIEGO JOSÉ BARRERA OLIVEROS  
Magister en controles industriales  
Ingeniero en mecatrónica**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO MMI  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER  
2020**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	10
1.2. OBJETIVOS.....	11
1.2.1. Objetivo general.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. ORGANIZACIÓN DE DOCUMENTO.....	12
2. MARCO TEORICO.....	13
2.1 SISTEMA TRIFÁSICO.....	13
2.2 BANCO DE CARGAS ELÉCTRICO.....	16
2.3 CARGAS ELÉCTRICAS.....	17
2.3.1 Carga resistiva.....	18
2.3.2. Carga capacitiva.....	20
2.3.3. Carga inductiva.....	22
2.4 . POTENCIA.....	23
2.4.1. Potencia reactiva.....	24
2.4.2. Potencia activa.....	24
2.4.3. Potencia aparente.....	25
2.5 . TRIÁNGULO DE POTENCIA.....	25
3. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	28
3.1. POTENCIA ACTIVA.....	29
3.2. POTENCIA REACTIVA.....	30
4. CÁLCULOS Y COTIZACIONES.....	31
4.1 . CARGAS.....	31
4.1.1. Cargas resistivas.....	35
4.1.2 Cargas capacitivas.....	44
4.1.3 Cargas inductivas.....	48
4.2 ELEMENTOS DE MANIOBRA.....	56
4.2.1 Contactores.....	56
4.3 FUSIBLES.....	63
5. SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	67
5.1. Sistema de ventilación por lógica de contactos.....	69

5.2. Sistema de ventilación Automatizado .....	70
6. DIAGRAMAS Y PLANOS .....	72
6.1. Conexiones generales .....	73
6.2. Suministro de potencia activa .....	73
6.3. Suministro de potencia reactiva .....	74
6.4. Acción de control o manipulación .....	76
7 CONCLUSIONES .....	78
8 ANEXOS.....	79
8.1. ANALIZADOR DE RED.....	79
8.2. PROGRAMACIÓN EN ZELIO SOFT 2 .....	81
8.3. DIAGRAMAS ELECTRICOS.....	81
9 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema trifásico con tres tensiones _____	13
Figura 2. Conexión de estrella _____	14
Figura 3. Conexión en triángulo _____	15
Figura 4. Diagrama fasorial para circuito resistivo _____	19
Figura 5. Diagrama Vectorial carga resistiva _____	19
Figura 6. Circuito carga resistiva _____	19
Figura 7. Diagrama fasorial para circuito capacitivo _____	20
Figura 8. Diagrama Vectorial carga capacitiva _____	21
Figura 9. Circuito carga capacitiva _____	21
Figura 10. Diagrama fasorial para circuito inductivo _____	22
Figura 11. Diagrama Vectorial carga inductiva _____	22
Figura 12. Circuito carga inductiva _____	23
Figura 13. Triángulo de potencias _____	26
Figura 14 Resistencia tubular de hilo bobinado. _____	32
Figura 15 Condensador trifásico. _____	34
Figura 16 Inductancia trifásica _____	34
Figura 17. Resistencia equivalente para 480 VAC _____	35
Figura 18. Resistencia equivalente para 240 VAC _____	36
Figura 19. Consumo resistivo por línea, paso de 200 kW en 480 VAC _____	37
Figura 20. Consumo resistivo por línea, paso de 100 kW en 480 VAC _____	38
Figura 21. Consumo resistivo por línea, paso de 50 kW en 480 VAC _____	39
Figura 22. Consumo resistivo por línea, paso de 200 kW en 240 VAC. _____	41
Figura 23. Consumo resistivo por línea, paso de 100 kW en 240 VAC _____	42
Figura 24. Consumo resistivo por línea, paso de 50 kW en 240 VAC _____	43
Figura 25. Capacitancia equivalente para 480 VAC _____	45
Figura 26. Capacitancia equivalente para 240 VAC _____	45
Figura 27. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 150 kVAR en 480 VAC _____	50

Figura 28. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 750 kVAR en 480 VAC _____	51
Figura 29. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 37.5 kVAR en 480 VAC _____	52
Figura 30. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 150 kVAR en 240 VAC _____	53
Figura 31. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 75 kVAR en 240 VAC. _____	54
Figura 32. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 37.5 kVAR en 240 VAC. _____	55
Figura 33 Ventilador axial. _____	67
Figura 34 Distribución general banco de cargas. _____	72
Figura 35 Analizador de red MIC 2 MKII, DEIF. _____	80
Figura 36. Programación BFD Sistema de ventilación. _____	81
Figura 37 Conexiones generales. _____	82
Figura 38 Cargas resistivas. _____	83
Figura 39 Cargas inductivas. _____	84
Figura 40 Cargas capacitivas 480 VAC. _____	85
Figura 41 Cargas capacitivas 240 VAC. _____	86
Figura 42 Operación y control. _____	87
Figura 43 Ventiladores. _____	88
Figura 44 Sistema de ventilación. _____	89
Figura 45 Analizador de red. _____	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cotizaciones resistencias. _____	32
Tabla 2. Cotizaciones condensadores. _____	33
Tabla 3 Grupos de resistencias. _____	36
Tabla 4. Requerimiento para resistencias. _____	44
Tabla 5. Requerimiento condensadores. _____	48
Tabla 6 Grupos inductivos. _____	49
Tabla 7. Requerimiento inductivo para 480 VAC. _____	55
Tabla 8. Requerimiento inductivo para 240 VAC. _____	56
Tabla 9. Selección de contactores para resistencias. _____	59
Tabla 10. Selección de contactores para reactores. _____	62
Tabla 11. Selección de contactores para condensadores. _____	63
Tabla 12 Selección de fusibles para resistencias. _____	64
Tabla 13 Selección de fusibles para inductancias. _____	65
Tabla 14 Selección de fusibles para condensadores. _____	66
Tabla 15. Factor de aire para cálculo de caudal. _____	68
Tabla 16. Caudal de aire necesario por escalón. _____	69
Tabla 17 Requerimiento ventiladores axiales. _____	69
Tabla 18. Segmentación de potencia reactiva capacitiva para 480 VAC. _____	75
Tabla 19. Segmentación de potencia reactiva capacitiva para 240 VAC. _____	76

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño de los planos eléctricos de un banco para cargas de tipo resistivo, capacitivo e inductivo, que se requiere para la empresa protección automatización y control S.A.S. de la ciudad de Bogotá. A lo largo del documento se desarrollan cálculos y cotizaciones para los principales elementos que lo componen, su sistema para extracción de aire caliente, además de la distribución, conexionado y visualización de datos del mismo banco.

La necesidad del proyecto surge ante la idea de ampliar la gama de servicios de la empresa Protección automatización y control SAS, dedicada a dar soluciones veraces al sector energético. Frente a esto, es de resaltar la importancia de los bancos de carga en las pruebas a motogeneradores, ya que al realizar estas pruebas se puede dar ajuste al control del generador, en consecuencia, al integro de escalones graduales de cargas eléctricas que pueden llegar al 100% de la capacidad energética del generador. Además, se consigue que se quemen depósitos de carbón o aceite remanentes en los tubos de escape que garantizan una maquina eficiente y confiable. Por otra parte, se pueden evidenciar problemas de funcionamiento a los grupos electrógenos, tales como: rendimiento, problemas de refrigeración, chequeo del funcionamiento del radiador, entre otras.

En el desarrollo del documento se abordará cada tipo de carga haciendo su respectivo análisis y cálculos, para luego establecer el funcionamiento general del banco y posteriormente proponer las protecciones eléctricas pertinentes.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Protección automatización y control S.A, es una empresa colombiana dedicada a la automatización de procesos en el sector energético y representante de varias empresas extranjeras. En ella se busca dar soluciones prácticas y confiables a problemáticas planteadas por el cliente. Su dominio se extiende desde el diseño, supervisión e implementación de proyectos encaminados a automatizar maquinas tales como generadores eléctricos, turbinas y demás.

Antes de poner en funcionamiento los procesos manipulados es de carácter obligatorio realizar pruebas de funcionamiento que garanticen el rendimiento a plena carga de los grupos energéticos.

Para realizar estas pruebas se utilizan métodos artesanales que no brindan la seguridad pertinente a sus operarios y que pueden ocasionar graves alteraciones a la infraestructura. La opción más segura es la implementación de los bancos de carga, estos elementos simulan condiciones de carga eléctrica variable de manera controlada, esta carga puede ser de tipo resistiva, capacitiva o inductiva. De esta forma se introduce al sistema potencia activa o/y reactiva dependiendo cuál sea el requerimiento.

Para las empresas dependientes de esta clase de energía es necesario y prioritario este tipo de pruebas, pues es una forma idónea de asegurar su proceso. Por esta razón se requiere en la empresa protección automatización y control SA, un banco de cargas capaz de cumplir con estas necesidades en la industria, pues el alquiler de maquinaria de este tipo es de elevado costo monetario. Por otro lado, esto sería un excelente punto de partida para impulsar una nueva línea de servicio al cliente, ya sea alquilando el banco de carga o prestando el servicio de pruebas junto a la automatización de los grupos electrógenos del sector de la industria que lo requiera.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Diseñar un banco de cargas eléctricas de tipo resistivo, inductivo y capacitivo para la empresa Protección Automatización y Control SAS en la ciudad de Bogotá DC, dando selección, especificación de equipos y cumpliendo con protecciones eléctricas requeridas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar elementos para cargas eléctricas de tipo resistiva, capacitiva e inductiva, realizando una cotización de precios además de especificaciones técnicas.
- Analizar elementos de maniobra para potencia y protección de cargas eléctricas de tipo resistiva, capacitiva e inductiva, realizando una cotización de precios además de especificaciones técnicas.
- Estructurar funcionamiento general del banco de cargas eléctricas de acuerdo a las especificaciones técnicas de la empresa.
- Realizar diagrama de conexiones de potencia y control del banco de cargas eléctricas.
- Plasmar protecciones eléctricas de seguridad al sistema de potencia.
- Asistir el desarrollo porcentual de las etapas implementadas y designadas por parte de la empresa Protección Automatización y Control SAS.

### **1.3. ORGANIZACIÓN DE DOCUMENTO**

En el siguiente capítulo se presentan conceptos básicos y ecuaciones que sustentan el desarrollo el documento.

En el capítulo 3 se muestras los requerimientos generales con que debe contar el banco de cargas, así como su organización general.

En el capítulo 4 se exponen los cálculos, cotizaciones y selección de las cargas, elementos de maniobra y fusibles.

Posteriormente, en el capítulo 5 se ilustra a cerca del sistema de ventilación propuesto para el banco de carga.

En el capítulo 6 se presentan su funcionamiento más detallado por etapas.

Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones del proyecto. En los anexos se describe la propuesta para la visualización de datos y se evidencian los planos eléctricos.

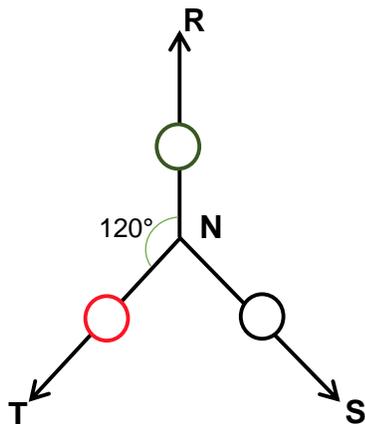
## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 SISTEMA TRIFÁSICO

Un sistema eléctrico trifásico constituye a la operación de tres fuentes de tensión polifásicas de igual frecuencia, las cuales mantienen un desfase entre sí de  $120^\circ$  ( $2\pi/3$  radianes), esta tensión es generada a partir de máquinas eléctricas llamadas alternadores; consiste básicamente en un imán que gira frente a un conjunto de bobinados que por efecto de la Ley de Faraday<sup>1</sup>, induce una tensión, en este caso se tiene un alternador compuesto por tres bobinados desplazados que producen tres ondas senoidales desfasadas, generando así la alterna trifásica.<sup>1</sup>

Estos tres generadores se encuentran interconectados por un punto en común denominado neutro "N" los cuales presentan una salida denominada "fase" e identificada con alguna de las letras "R", "S" o "T".

Figura 1. Sistema trifásico con tres tensiones



Autoría propia – Word.

---

<sup>1</sup> LOPEZ, Luciano. (2005). Ley de Faraday-Lenz. {En línea} 2019 {03 de 2020}. Disponible en: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/LopezL.pdf>

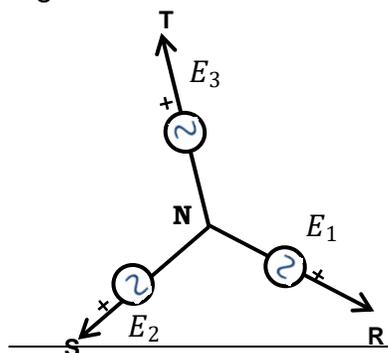
Si las tres tensiones tienen el mismo modulo y están desfasadas entre si  $120^\circ$ , se denomina como sistema trifásico equilibrado en tensiones, por el contrario cuando no se cumple una de las dos condiciones anteriores, entonces se dice que el sistema es desequilibrado en tensiones.<sup>2</sup>

### Conexiones estrella y triangulo

Se puede reducir el número de conductores necesarios para conectar una fuente trifásica a determina carga, para esto surgen dos alternativas posibles de conexión de los arrollamientos de fase del alternador entre si y sus tres fases de carga, de manera que el alternador así como la carga pueden conectarse tanto en forma de estrella (Y - Figura 1) con o sin el conductor neutro o como forma de triángulo( $\Delta$ - figura 2); obteniendo así una interconexión en donde los conductores se reduce a tres o cuatro dependiendo de la formación establecida.<sup>3</sup>

Para la conexión en estrella se construye uniendo en un punto común N, llamado neutro, a los terminales de polaridad de referencia positiva, en el cual todos los finales o todos los principios se reúnen, para el sistema trifásico tetrafilar: 3 fases enunciados RST con neutro N y en el sistema trifásico trifilar: 3 fases enunciados RST sin neutro accesible.

Figura 2. Conexión de estrella

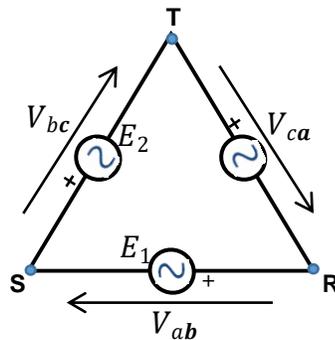


<sup>2</sup> CASARES, Fr. Sistemas trifásicos . {En línea}. 11 de 2011. { 2019}. Disponible en : [http://www.trifasica.net/pdf/TEMA\\_8.\\_SISTEMAS\\_TRIFASICOS.pdf](http://www.trifasica.net/pdf/TEMA_8._SISTEMAS_TRIFASICOS.pdf)

<sup>3</sup> MOLINA MARTÍNEZ, José Miguel. Corriente Alterna Monofásica y Trifásica: Fundamentos de electrotecnia para ingenieros. Barcelona: Marcombo S.A. 2012.

Por otra parte, la conexión en triángulo también denominado polígono o delta, se obtiene uniendo el fin de la primera fase del generador y conectando al comienzo de la segunda y así sucesivamente los terminales de diferente polaridad, en este no existe punto común. La conexión de los tres elementos del triángulo forma un circuito cerrado en el cual no existe neutro y se constituye un cierre cíclico; para el sistema trifásico trifilar se enuncian tres fases RST, sin neutro.

Figura 3. Conexión en triángulo



Autoría propia – Word.

El sistema de corriente alterna trifásica ofrece valiosas ventajas en arranque, generación, distribución y consumo de energía eléctrica con respecto al sistema de corriente continua desarrollado por Thomas A. Edison, puesto que para transmitir la misma potencia eléctrica se requiere un 25% menos de peso de cobre, por lo que se consigue un mejor aprovechamiento de los generadores, líneas, transformadores.<sup>4</sup>

La potencia instantánea es constante e independiente, por lo que los motores trifásicos tienen un par uniforme presentando así menos vibraciones y esfuerzos; a

---

<sup>4</sup> FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS. Cátedra de Teoría de Circuitos I :Circuito trifásico Edición 2015{En línea}.Disponible en:<https://www.fceia.unr.edu.ar/tci/utiles/Apuntes/Cap%2010-TRIF.pdf>

su vez la potencia de un motor trifásico es aproximadamente 150% mayor que la de un motor monofásico de las mismas características.<sup>5</sup>

## **2.2 BANCO DE CARGAS ELÉCTRICO**

Un banco de cargas eléctrico es un dispositivo en el cual se suministran cargas eléctricas resistivas, inductivas o capacitivas, con el fin de probar diferentes suministros de energía eléctrica, el diseño de este equipo permite simular situaciones variables de energía, estos son conectados a una fuente eléctrica y poseen la capacidad de disipar su potencia, generando una carga estable que permite realizar control, medición y monitorización del mismo, obteniendo de esta forma registros precisos, un completo manejo de la carga eléctrica y del factor de potencia, estos sistemas pueden ser de tipo portátil, instalación permanente, montados sobre remolque para uso exterior o acoplado sobre radiador.<sup>6</sup>

El objetivo primordial de este artefacto es probar sistemas de protección de energía en condición de carga pero evitando el riesgo al suministro de carga, este equipo se caracteriza por llevar una armadura metálica exterior, además está compuesto por resistencias de gran magnitud a la vez de un sistema de refrigeración y algunos ventiladores con el fin de evacuar el calor generado, por otra parte ejecutan una electrónica que permite regular las cargas en saltos bajos de hasta un (1) KW, a su vez este procesa toda la información obtenida durante la prueba mediante un software para generar reportes del funcionamiento del generador durante la operación.

*Aplicaciones del banco de carga.*

Existen diferentes aplicaciones de los bancos de carga, las más comunes se encuentran en la utilización para prueba de generadores eléctricos, plantas de

---

<sup>5</sup> SUÁREZ, Cesar. Principios de electrotecnia: Circuitos monofásicos y trifásicos. Oviedo: Servicio de publicaciones Universidad Oviedo, 2001. P. 169-171

<sup>6</sup> AVTRON LOADBANK. Bancos de Carga . {En línea} 2019, Disponible en: <http://tool-solutions.com.ar/banco-de-carga.pdf>

energía, sistemas UPS, prueba de barcos, sistemas de baterías, minería, inversores, telecomunicaciones, turbinas generadoras y reducción de problemas de sublimación de motores Diesel.<sup>7</sup>

### *Control*

Los bancos de carga eléctrica pueden controlarse por medio de diferentes sistemas<sup>8</sup>, entre estos se encuentran los siguientes:

- *Control local:* Equipan un panel de control integrado en el banco de carga, en forma de pantalla táctil o de botón para controlar la carga.
- *Control remoto:* Este se encuentra equipado con un software computacional el cual se maneja por medio de un cable de datos con conexión USB, de forma retirada a la estructura física del banco de carga, lo cual permite regular las fases de carga, el tiempo, el factor de potencia, modo de prueba, la detección de datos y fallos.
- *Control remoto inalámbrico:* El control de fases de carga y el funcionamiento del manejo del banco de carga se realiza mediante un práctico control manual.
- *Control automático:* Posee un control remoto con funciones automáticas que permiten realizar funciones de encendido, apagado, regulación automática del tiempo, carga y de la potencia.

## **2.3 CARGAS ELÉCTRICAS**

La carga eléctrica determina la capacidad de los cuerpos como fuente de campos electromagnéticos en respuesta a la interacción electromagnética, esto corresponde a la propiedad de la materia que está presente en las partículas subatómicas, las cuales generan fuerzas de atracción o repulsión entre ellas por

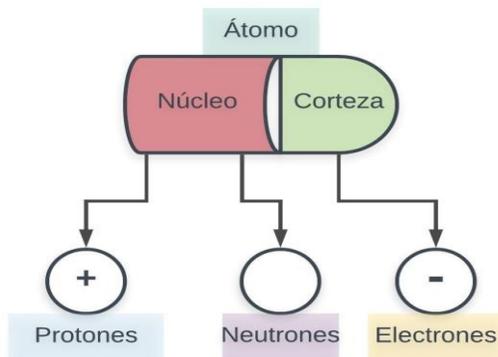
---

<sup>7</sup> AMPERIS. Instrumentación eléctrica y equipos de ensayo. {En línea} 2017, Disponible en: <http://amperis-products.blogspot.com/2017/11/queees-un-banco-de-carga.html>

<sup>8</sup> HILKAR. Bancos De Carga Resistivos Serie-R. {En línea} 2017, Disponible en: <http://www.hilkar.com/es/resistivoserier.html>

medio de campos electromagnéticos<sup>9</sup>, si bien la materia compuesta por átomos es de carácter neutro, pues no está cargada a menos de que un factor externo lo haga, estos átomos poseen partículas con carga eléctrica negativa denominados electrones y de partículas positivas llamados protones; de manera que los átomos pueden ganar o perder carga negativa o positiva, esta materia al ser cargada puede generar campos de fuerza eléctrica

Figura 4. Representación de un átomo



Autoría propia – Lucidchart.

### 2.3.1 Carga resistiva

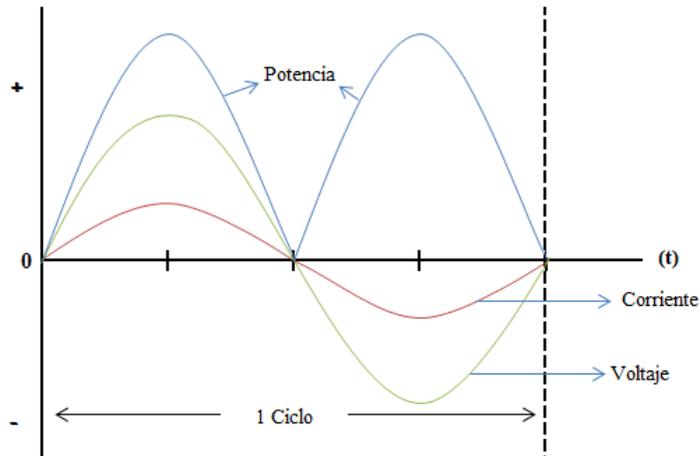
La carga resistiva es totalmente la oposición de la corriente alterna, pues genera oposición al paso de la corriente, una de sus características principales es que sus ondas de corriente y voltaje están en fase, pues estas empiezan y terminan en el mismo punto; de manera que en cada momento la potencia es igual a la corriente en ese instante multiplicado por el voltaje del mismo, generando una potencia positiva, lo cual hace que la carga resistiva convierta la energía eléctrica en calorífica<sup>10</sup>. Esta resistencia depende principalmente del material y de sus

<sup>9</sup> ZEMANSKY, Mark. Física Universitaria. México: Pearson, 2004.

<sup>10</sup> LEAL, Timoteo. Análisis de Circuitos. {En línea}. 06 de 2012.{2020}. Instituto Tecnológico de Querétaro. Disponible en: [http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectrica/archivos\\_contenido/guias%20de%20practica/Practicas\\_2012/ANALISIS%20DE%20CIRCUITOS.pdf](http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectrica/archivos_contenido/guias%20de%20practica/Practicas_2012/ANALISIS%20DE%20CIRCUITOS.pdf)

características físicas, según el ámbito matemático depende de la tensión y de la corriente<sup>11</sup>.

Figura 4. Diagrama fasorial para circuito resistivo



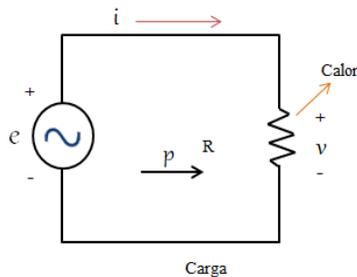
Autoría propia – Excel.

Figura 5. Diagrama Vectorial carga resistiva



Autoría propia – Excel.

Figura 6. Circuito carga resistiva



Autoría propia – Excel.

<sup>11</sup> ZAMORA, Rodolfo. Trabajo de grado (Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el factor potencia). Guayaquil, 2013, p 162 . Universidad catolica de Guayaquil.Facultad de Ingeniería.

Ecuaciones:

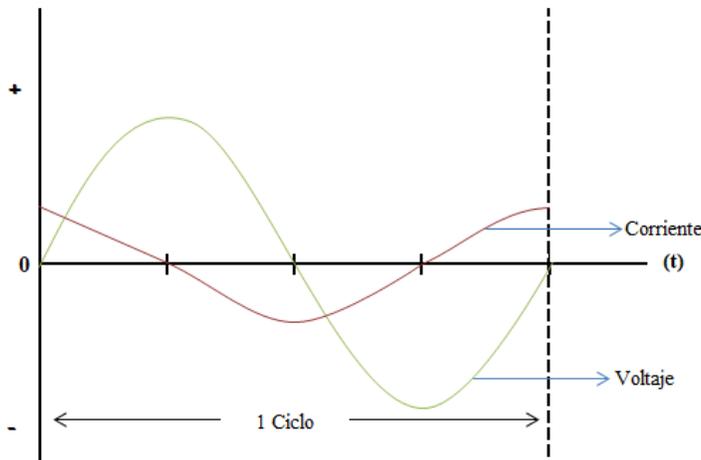
$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

### 2.3.2. Carga capacitiva

En las cargas capacitivas la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje, por lo que el factor de potencia es adelantado, esta toma la carga en la mitad del primer ciclo de la fuente de energía la transforma en campo eléctrico y que para el siguiente ciclo regresa su potencia a la fuente, en esto el capacitor se encarga de tomar la potencia, usarla, regresarla a medida de carga y descarga, pero sin consumirla. Para la carga capacitiva no se tienen una resistencia, sino una reactancia capacitiva<sup>12</sup>.

En este tipo de carga la corriente depende de la tensión y de la reactancia capacitiva, más sin embargo la reactancia no depende ni de la tensión ni de la corriente, al elevar la tensión se eleva la reactancia y esta permanecerá constante.

Figura 7. Diagrama fasorial para circuito capacitivo

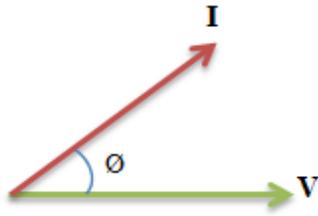


Autoría propia – Excel.

---

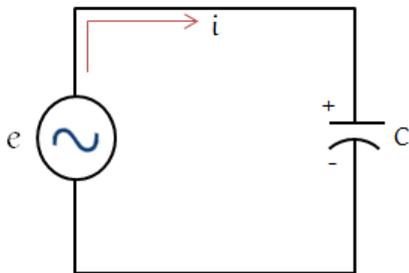
<sup>12</sup> VELAZCO, Carlos. Cargas inductivas, capacitivas y resistivas. {En línea}. 09 de 07 de 2016 {2020}. Disponible en: <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>

Figura 8. Diagrama Vectorial carga capacitiva



Autoría propia – Excel.

Figura 9. Circuito carga capacitiva



Autoría propia – Excel.

Ecuaciones:

$$X_c = \frac{V}{I} \tag{2}$$

$$I = \frac{V}{X_c} \tag{3}$$

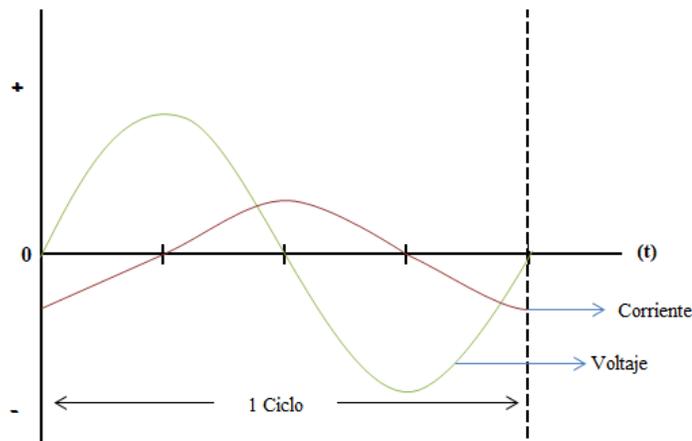
$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \tag{4}$$

### 2.3.3. Carga inductiva

En la carga inductiva la potencia que opera la carga en la mitad del primer ciclo de la fuente de corriente, transforma la energía en un campo magnético variable, que basado en la leyes de Lenz y Faraday<sup>13</sup>, generan una tensión en la bobina opuesta a la fuente que la produce, de manera que para la mitad del siguiente ciclo esta potencia regresa a la fuente, al igual que la capacitiva toma la potencia de la fuente, la usa y regresa sin consumirla.

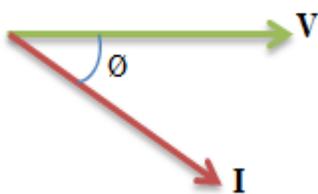
Para este tipo de carga se tiene reactancia inductiva en vez de una resistencia, esta reactancia depende del número de espiras, la frecuencia y flujo.

Figura 10. Diagrama fasorial para circuito inductivo



Autoría propia – Excel.

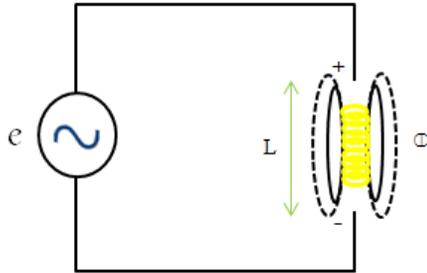
Figura 11. Diagrama Vectorial carga inductiva



Autoría propia – Excel.

<sup>13</sup> LOPEZ, Luciano. op. cit.

Figura 12. Circuito carga inductiva



Autoría propia – Excel.

*Ecuaciones:*

$$X_L = \frac{V}{I} \quad (5)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad (6)$$

$$I = \frac{V}{X_L} \quad (7)$$

## 2.4. POTENCIA

La potencia eléctrica se define como “La potencia eléctrica suministrada por un receptor es directamente proporcional a la tensión de la alimentación del circuito y a la intensidad que circule por él, es decir la relación en cuanto a la cantidad de energía absorbida por un elemento por determinada unidad de tiempo”<sup>14</sup>, esta unidad de medida denominada según el sistema internacional de unidades como vatio o watt.

Se expresa de la siguiente manera:

$$P = VI \quad (8)$$

---

<sup>14</sup> ROLDÁN, Carlos. Triángulo de potencia. {En línea} Universidad politécnica de valencia. { 2020}. Disponible en: <http://laboratoriosvirtuales.upv.es/eslabon/tripot/>

En donde:

P=Potencia en watt

V=Tensión en volt

I=Intensidad en ampere

#### **2.4.1. Potencia reactiva**

La potencia reactiva es generada por dispositivos de tipo inductivo o capacitivo, estos generan campos magnéticos y campos eléctricos; este tipo de potencia solo aparece al tener incorporado bobinas o condensadores en los circuitos, esta potencia se origina en cuanto la corriente está a 90° con el voltaje en adelante o atraso. Por ende la potencia reactiva tiene un valor medio nulo, pues no produce vatios de manera que la potencia es denominada devastada<sup>15</sup>. La unidad de medida se expresa en Volts (V) o Amperes Reactivos (AR); para el triángulo de potencias se identifica con la letra Q.

Su cálculo se realiza a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (9)$$

En donde:

Q=Valor carga reactiva o inductiva (Volt/Ampere Reactivo)

S=Valor potencia aparente o total (Volt/Ampere)

P=Valor de la potencia activa o resistiva (Watt)

#### **2.4.2. Potencia activa**

Es la potencia que se obtiene a través de la capacidad de un circuito al transformar la corriente eléctrica en trabajo útil W (Watts), esta potencia se genera cuando el componente de la corriente se encuentra en fase con el voltaje. En el triángulo de potencias se identifica con la letra P<sup>16</sup>.

Su cálculo se realiza a partir de la siguiente expresión:

---

<sup>15</sup> ROLDÁN, Carlos op. cit.

<sup>16</sup> SEARS, & ZEMANSKY. Física general. Aguilar: Pearson, 1957.

$$P = VI\cos(\varphi) \quad (10)$$

En donde:

P= Potencia de consumo eléctrico (Watts)

I= Intensidad de corriente que fluye por el circuito

Cos ( $\varphi$ )= Valor del factor de potencia.

### 2.4.3. Potencia aparente

Es la potencia total que requiere la carga, esta es la suma total de la potencia que brindan generadores, transformadores y UPS, está en conclusión es la suma vectorial de la potencia activa y la reactiva; se mide a través de las unidades Volts o Amperes, esta potencia permite a los dispositivos eléctricos alcanzar el calentamiento máximo permitido y se identifica en el triángulo de potencias con la letra S.

Su cálculo se realiza a partir de la siguiente expresión:

$$S = VI \quad (11)$$

En donde:

S=Potencia aparente (Volt/Ampere)

V=Voltaje de la corriente (Volt)

I=Intensidad de la corriente eléctrica=(A).

## 2.5. TRIÁNGULO DE POTENCIA

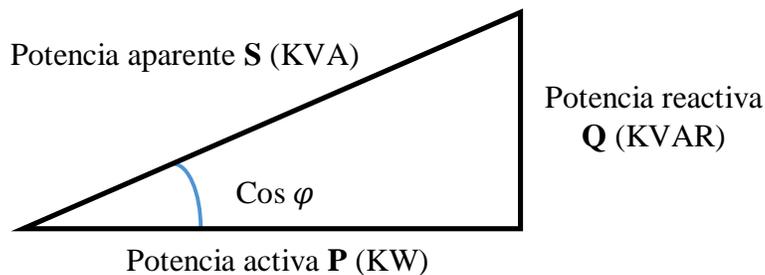
El triángulo de potencias es una representación gráfica que permite plantear la relación de las tres potencias existentes dentro de la corriente alterna, por ende su estructura geométrica permite establecer adecuadamente la función de cada una de las potencias en función al factor potencia o también denominado coseno de

“fi”, de manera que se identifique la relación de la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga del circuito<sup>17</sup>.

El principal objetivo de su aplicación es en el uso de corrección del factor de potencia ya que permite disminuir la potencia reactiva en un circuito de corriente alterna y de esta manera aprovechar eficientemente la potencia entregada por la fuente de voltaje.

Esta representación establece que Q es la representación de la potencia reactiva, P la potencia activa y S la potencia aparente y  $\varphi$  el ángulo de fase; al observar la representación se puede concluir que  $\varphi$  es el ángulo entre la potencia activa y la potencia reactiva<sup>18</sup>.

Figura 13. Triángulo de potencias



Autoría propia – Word.

A partir del triángulo de potencias se puede representar la relación de las potencias ya mencionadas y a través de las siguientes expresiones trigonométricas:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (12)$$

---

<sup>17</sup> PRADO & WILCHES. Trabajo de grado (Estudio, diseño y simulación de un banco de pruebas con cargas resistivas variables para ups implementando un sistema de control de potencia y temperatura para IEE S.A). San Buenaventura, 2006, p 214. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería. Mecatrónica.

<sup>18</sup> SEARS, & ZEMANSKY. op. cit.

Factor de potencia:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S}$$

Para las condiciones de voltajes y corrientes senoidales el factor de potencia es:

$$F_p = \text{cos } \varphi$$

El resultado de la operación del factor de potencia indica que el factor de potencia está desfasado o no en grados entre la corriente eléctrica y el voltaje en el circuito de corriente alterna, de forma que lo ideal es que el resultado siempre sea igual a 1, pues así se estaría aprovechando óptimamente el consumo de energía eléctrica, puesto que se reduciría la pérdida de energía y se maximizaría la producción de los generadores de energía.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL

El diseño general del banco de cargas eléctricas lo componen básicamente las características técnicas con las que debe contar el equipo:

- Potencia Activa: 1000 kW
- Factor de potencia mínimo en adelanto y atraso de hasta 0.8
- Tensión de operación: 480 y 240 V AC

Con estos datos suministrados por la empresa Protección automatización y control SAS se procede a dar inicio a la solución del requerimiento planteado.

Siguiendo el triángulo de potencia, se tiene que:

$$\cos(\theta_{FP}) = 0.8$$

$$\theta_{FP} = \cos^{-1}(0.8)$$

$$\theta_{FP} = 36.87^\circ$$

Con el ángulo del triángulo de potencia se halla la potencia aparente

$$S = \frac{P}{\cos(\theta_{FP})} \quad (13)$$

$$S = \frac{1000k}{\cos(36.87)}$$

$$S = 1.25 \text{ MVA}$$

y posteriormente la potencia reactiva máxima requerida por el sistema.

$$Q = S \sin(\theta_{FP}) \quad (14)$$

$$Q = 1.25M \sin(36.87)$$

$$Q = 750 \text{ kVAR}$$

Luego de obtener los valores máximos de potencia reactiva y aparente, se trabaja sobre el esquema general y descripción del consumo que mejor convenga para estas potencias.

### **3.1. POTENCIA ACTIVA**

Los resistores que suministran potencia activa, estarán conectados en paralelo con cada una de las tres líneas, agrupados en pasos que generen escalones controlados de potencia activa, de esta manera se decide que los pasos serán los siguientes:

- 4 pasos de 200 kW
- 1 paso de 100 kW
- 2 pasos de 50 kW

Todo para un total de 1000 kW.

Como la tensión de operación es de 480 y 240 VAC, es necesario el diseño de grupos de resistencias con las características necesarias para cada rango de tensión. Es de resaltar que los resistores diseñados para 480 VAC también son conectados a 240 VAC en el momento que se requiera. Por tanto, todas las resistencias deben tener la capacidad de operar a tensión máxima para reducir la cantidad de resistores de potencia requeridos.

### **3.2. POTENCIA REACTIVA**

Como se desea que el factor de potencia mínimo sea de 0.8 en adelanto o atraso, esto trae como consecuencia utilizar reactancias capacitivas e inductivas.

Ya teniendo el consumo de potencia reactiva, es claro que estos valores atienden a cuando el consumo es máximo. Pero, ¿Que sucede cuando el consumo de potencia activa es a la mitad de su potencia total? Esto con un factor de potencia fijo reduce proporcionalmente el valor de potencia reactiva, por ello se debe tener en cuenta soluciones a este tipo de problemáticas, pues en cualquier momento de una prueba se hace necesario bajar el factor de potencia al mínimo sin tener que llegar a la carga resistiva máxima.

De igual forma que con la potencia activa, el banco de cargas al ser alimentado por 480 o 240 V AC, hace que no se pueda tener un solo paquete de reactancias a un valor de tensión fijo.

## **4. CÁLCULOS Y COTIZACIONES**

Parte de la viabilidad del proyecto, está en encontrar los elementos adecuados, que brinden seguridad al sistema, buena calidad y que los costos no sean excesivos, por tal razón se solicitaron cotizaciones a proveedores que cumplieran con las características técnicas requeridas, teniendo en cuenta estas cotizaciones se realizan los respectivos cálculos para cumplir con las exigencias a los parámetros establecidos por la empresa Protección automatización a control SAS. A continuación, se evidencia los cálculos y cotizaciones realizadas.

### **4.1. CARGAS**

Los parámetros escogidos para las realizar las cotizaciones fueron: precio, parámetros máximos comerciales y calidad del producto.

Para el caso de las resistencias se indagó acerca de la potencia máxima de consumo nominal, su precio por unidad y dimensiones aproximadas.

Haciendo un análisis en el mercado se lograron encontrar varias opciones entre las que se destacan las referidas en la tabla 1.

Tabla 1. Cotizaciones resistencias.

Ítem	Empresa	Ubicación	Tipo de resistencia	Potencia máxima consumida	Tensión de operación	Costo por unidad (\$)	Tamaño
1	Electriequipos	Medellín, Colombia	Tubular	2380 Watts	480/240 VAC	70.000	140 cm largo 2.54 cm diámetro
2	Electrosilvania	Bogotá, Colombia	Tubular	8000 Watts	480/240 VAC	90.000	100 cm largo 2.54 cm diámetro
3	Industrias Ovelma	Bogotá, Colombia	Tubular de cerámica	350 Watts	480 VAC	75.000	100 cm largo 2.54 cm diámetro
4	Resistencias de potencia SA	México	Cerámica	8000 Watts	480/240 VAC	1.017.900	72.6 cm largo

Autoría propia – Word.

Al observar la tabla 1, se detalla que, aunque todas las clases de resistencias son de tipo tubular, exceptuando el ítem 4. La oferta suministrada por el ítem 2, ofrece las mejores condiciones en cuanto a la potencia máxima de consumo en proporción a su precio. Motivo por el cual se realizaron los respectivos cálculos para encontrar los valores de resistencias y suplir el consumo de demanda en potencia activa.

Figura 14 Resistencia tubular de hilo bobinado.



Autoría – Electrosilvania.

En el caso de las capacitancias se encontró un tipo de condensador trifásico, en el que un solo elemento es conectado a las tres fases, así, se obtiene el valor completo de capacitancia enunciada en dicho capacitor, de esta forma se reduce considerablemente el número de elementos utilizados. Se tuvieron en cuenta los valores comerciales de cada empresa y se buscó la mayor capacitancia por elemento a la tensión nominal, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Cotizaciones condensadores.

Ítem	Empresa	Ubicación	Tipo de condensador	Potencia máxima consumida (kVAR)	Valor capacitivo (uF)	Costo por unidad (\$)
1	Disproel	Bogotá, Colombia	Trifásico	23.8/240 VAC	365	240.000
				30/480 VAV	115	228.000
2	Laumayer	Medellín, Colombia	Trifásico	15/240 VAC	230	562.400
				30/480 VAC	115	703.500
3	Telecontroles	México	Trifásico	10/240 VAC	153	279.965
				25/480 VAC	96	325.666

Autoría propia – Word.

Teniendo en cuenta las especificaciones de la anterior tabla, se eligieron los capacitores trifásicos ofrecidos por el ítem 1, ya que suministra el mayor consumo de potencia reactiva a las tensiones nominales de sistema. Además, cumple ampliamente con las expectativas en cuanto a costos.

Ya realizada la elección del proveedor, se adelantan los cálculos para determinar el número de elementos a utilizar y su conexionado.

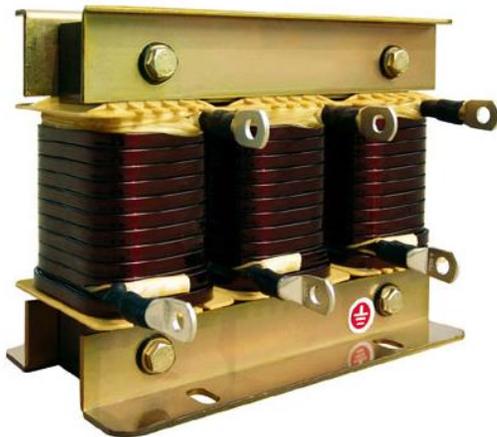
Figura 15 Condensador trifásico.



Autoría – Electrosilvania. Recuperado de: <https://disproel.com/tienda/condensadores-trifasicos/>

En el caso de los reactores eléctricos se encontró que los productos se fabrican bajo especificaciones requeridas por el cliente, sin exceder los límites de corriente por fase.

Figura 16 Inductancia trifásica



Recuperado de: <https://riverglennapts.com/es/reactor/732-types-of-electrical-reactor.html>

#### 4.1.1. Cargas resistivas.

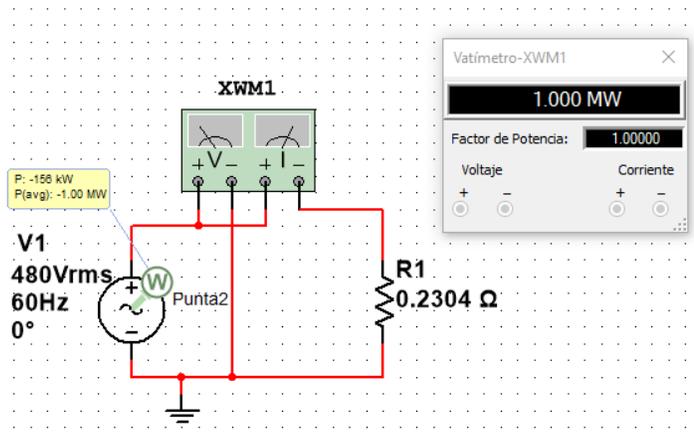
Para suplir el consumo de Potencia activa de 1000 kW en pasos de: (4) 200 kW, (1) 100 kW y (2) 50 kW se debe establecer el valor óhmico para adquirir así la cotización.

Partiendo de esto se tiene que:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (15)$$

$$R = \frac{480^2}{1M} = 0.2304 \Omega$$

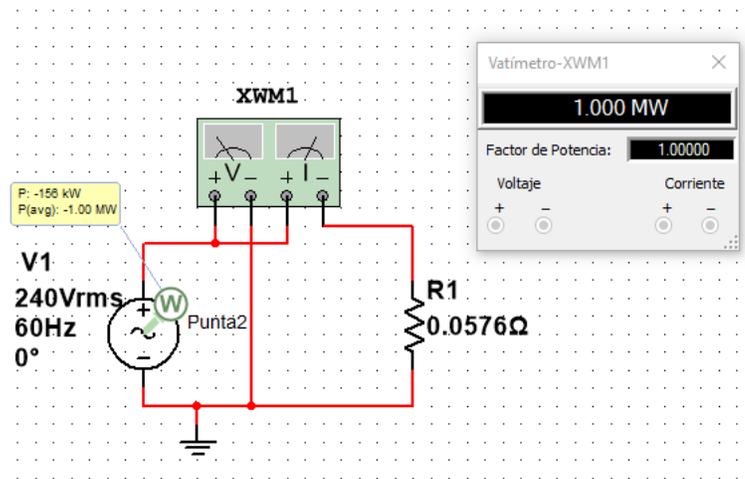
Figura 17. Resistencia equivalente para 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$R = \frac{240^2}{1M} = 0.0576 \Omega$$

Figura 18. Resistencia equivalente para 240 VAC



Autoría propia – Multisim.

La resistencia equivalente del sistema para una alimentación de 480 y 240 V AC es de 0.2304 Ω y 0.0576 Ω respectivamente. La potencia según el paso requerido varia así mismo como el voltaje de alimentación para el banco de cargas, entonces es pertinente hacer un análisis para los dos casos.

Su estructura se compone de arreglos resistivos organizados como indica la tabla 3.

Tabla 3 Grupos de resistencias.

Grupo	Potencia suministrada	Tensión de operación
1	200 kW	480 VAC
2	100 kW	480VAC
3	50 kW	480 VAC
4	200 kW	240 VAC
5	100 kW	240 VAC
6	50 kW	240 VAC

Autoría propia – Word.

#### 4.1.1.1 Cálculo de resistencias para 480 V AC

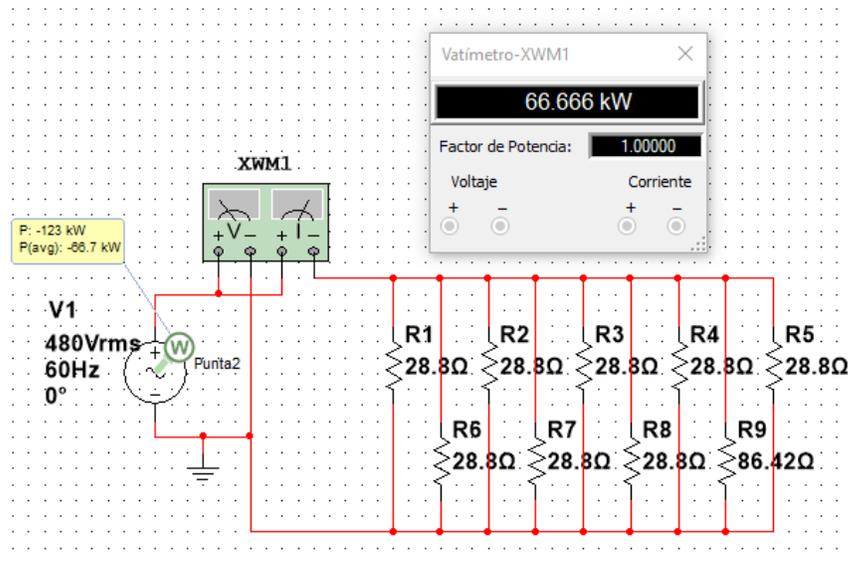
##### Grupo 1, consumo por línea de 66.666 kW

8 resistencias de 28.8  $\Omega$  y 1 de 86.42  $\Omega$  conectadas en paralelo por línea para sumar un total en potencia de 66.666 kW

$$R = \frac{480^2}{8k} = 28.8 \Omega$$

$$R = \frac{480^2}{2666} = 86.42 \Omega$$

Figura 19. Consumo resistivo por línea, paso de 200 kW en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 8 \left( \frac{480^2}{28.8} \right) + \left( \frac{480^2}{86.42} \right) = 66.666 \text{ kW}$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)66.666k = 200 \text{ kW}$$

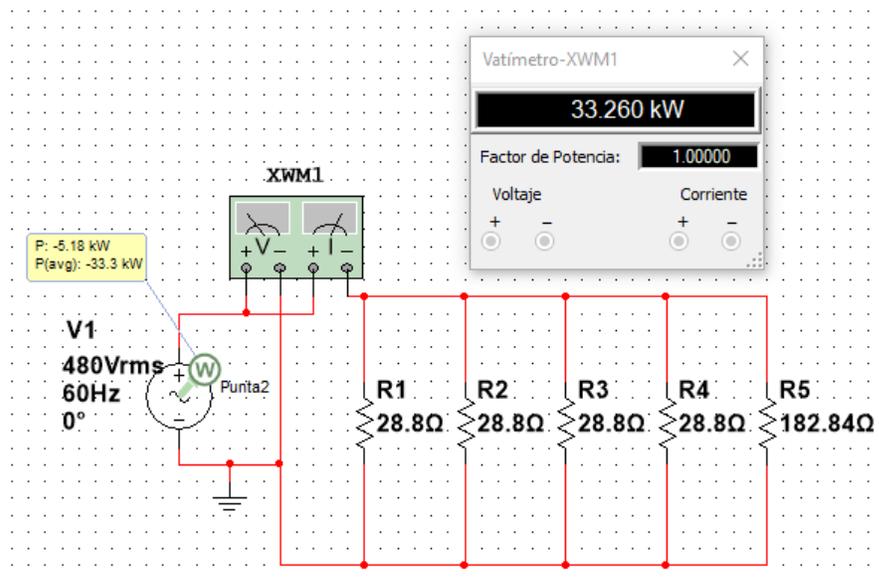
**Grupo 2, consumo por línea de 33.333 kW**

4 resistencias de  $28.8 \Omega$  y 1 de  $172.84 \Omega$  conectadas en paralelo por línea para sumar un total de 33.333 kW

$$R = \frac{480^2}{8k} = 28.8 \Omega$$

$$R = \frac{480^2}{1.333k} = 172.84 \Omega$$

Figura 20. Consumo resistivo por línea, paso de 100 kW en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 4 \left( \frac{480^2}{28.8} \right) + \left( \frac{480^2}{172.84} \right) = 33.333 \text{ kW}$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)33.333k = 100 kW$$

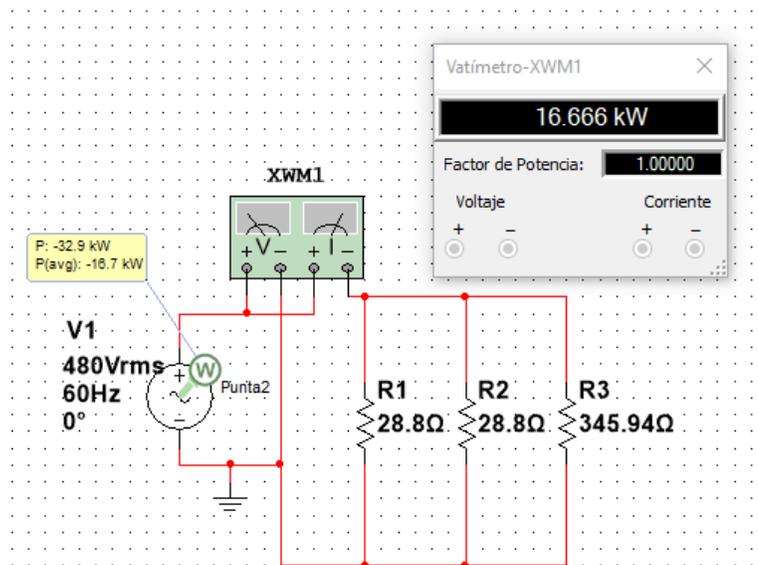
### Grupo 3, consumo por línea de 16.666 kW

2 resistencias de  $28.8 \Omega$  y 1 de  $345.94 \Omega$  conectadas en paralelo por línea sumar un total de 16.666 kW

$$R = \frac{480^2}{8k} = 28.8 \Omega$$

$$R = \frac{480^2}{0.666k} = 345.94 \Omega$$

Figura 21. Consumo resistivo por línea, paso de 50 kW en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 2 \left( \frac{480^2}{28.8} \right) + \left( \frac{480^2}{345.94} \right) = 16.666 kW$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)16.666k = 50 kW$$

Nota: Se tiene que el consumo máximo de potencia por resistencia encontrado comercialmente es de 8 kW, así que bajo este parámetro se trabajó.

#### **4.1.1.2 Calculo de resistencias para 240 V AC**

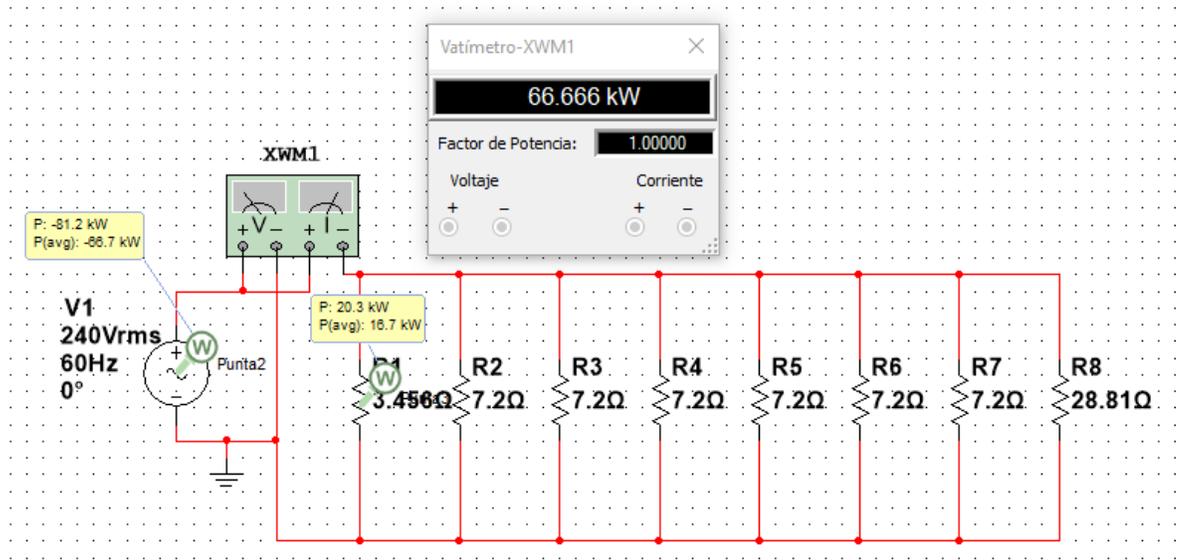
##### **Grupo 4, consumo por línea de 66.666 kW**

La potencia activa suministrada por las resistencias de 480 V AC para el paso de 200 kW ahora conectadas en 240 V AC es de 16.666 Kw por línea, por lo que se necesita adicionar 6 resistencias de 7.2  $\Omega$  y 1 de 28,81  $\Omega$  conectadas en paralelo por línea para sumar un total de 66.666 kW

$$R = \frac{240^2}{8k} = 7.2 \Omega$$

$$R = \frac{240^2}{1.999k} = 28.81 \Omega$$

Figura 22. Consumo resistivo por línea, paso de 200 kW en 240 VAC.



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 16.666k + 6 \left( \frac{240^2}{7.2} \right) + \left( \frac{240^2}{28.81} \right) = 66.665 \text{ kW}$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)66.665k = 200 \text{ kW}$$

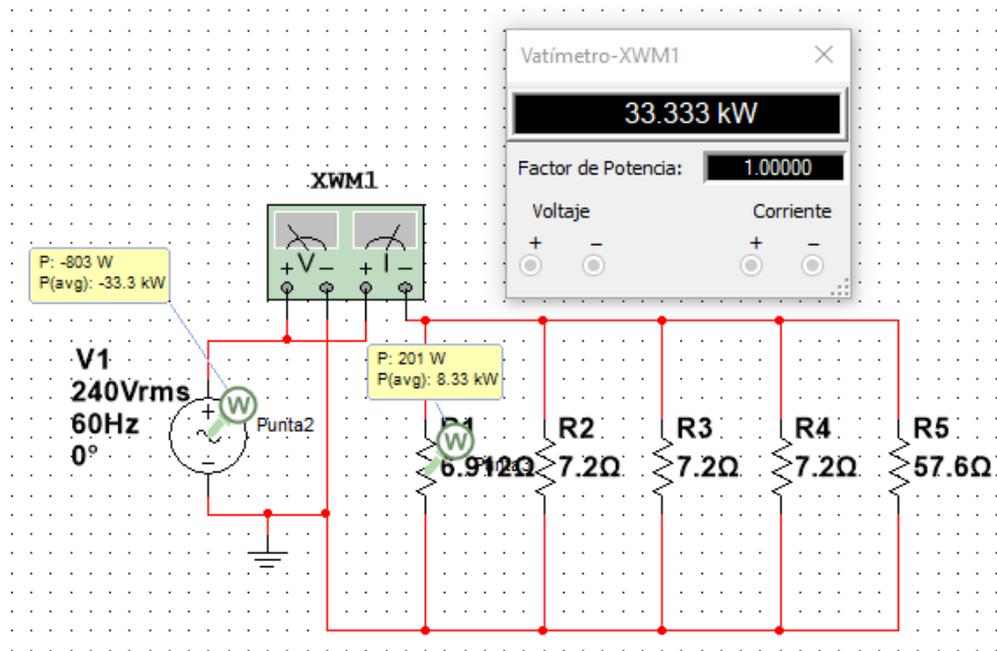
### Grupo 5, consumo por línea de 33.333 kW

La potencia activa suministrada por las resistencias de 480 V AC para el paso de 100 Kw ahora conectadas en 240 V AC es de 8.333 Kw por línea, por lo que se necesita adicionar 3 resistencias de 7.2 Ω y 1 de 57.6 Ω conectadas en paralelo por línea sumar un total de 33.333 kW

$$R = \frac{240^2}{8k} = 7.2 \Omega$$

$$R = \frac{240^2}{1k} = 57.6 \Omega$$

Figura 23. Consumo resistivo por línea, paso de 100 kW en 240 VAC



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 8.333k + 3 \left( \frac{240^2}{7.2} \right) + \left( \frac{240^2}{57.6} \right) = 33.33 \text{ kW}$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)33.333k = 100 \text{ kW}$$

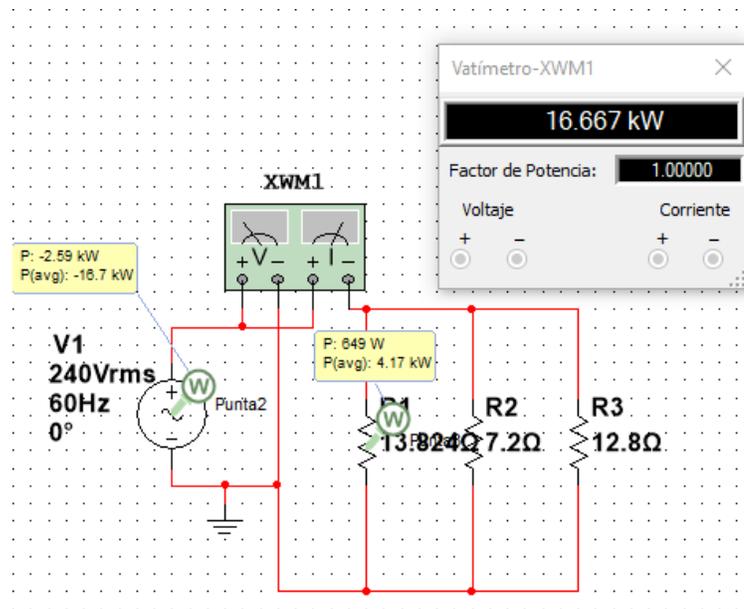
### Grupo 6, consumo por línea de 16,666 kW

La potencia activa suministrada por las resistencias de 480 V AC para el paso de 50 Kw ahora conectadas en 240 V AC es de 16.666 kW por línea por lo que se necesita adicionar 1 resistencia de 7.2 Ω y 1 de 12.8 Ω conectadas en paralelo por línea sumar un total de 16.666 kW

$$R = \frac{240^2}{8k} = 7.2 \Omega$$

$$R = \frac{240^2}{4.5k} = 12.8 \Omega$$

Figura 24. Consumo resistivo por línea, paso de 50 kW en 240 VAC



Autoría propia – Multisim.

La potencia por línea es:

$$P_l = 4.166k + \left(\frac{240^2}{7.2}\right) + \left(\frac{240^2}{12,8}\right) = 16,666 kW$$

Potencia total del grupo:

$$P_T = (3)16,666k = 50 kW$$

En la tabla 4 se muestran los valores y cantidades de resistencias requeridos por el sistema

Tabla 4. Requerimiento para resistencias.

Para 480 V AC			Para 240 V AC		
Cantidad de resistencias	Potencia activa consumida (W)	Resistencia eléctrica $\Omega$	Cantidad de resistencias	Potencia activa consumida (W)	Resistencia eléctrica $\Omega$
120	8k	28.8	87	8k	7.2
12	2.66k	86.42	12	1.99k	28.81
3	1.33k	172.84	3	1k	57.6
6	0.66k	345.94	6	4.5k	12.8
<b>Total</b>	141		108		

Autoría propia – Word.

#### 4.1.2 Cargas capacitivas

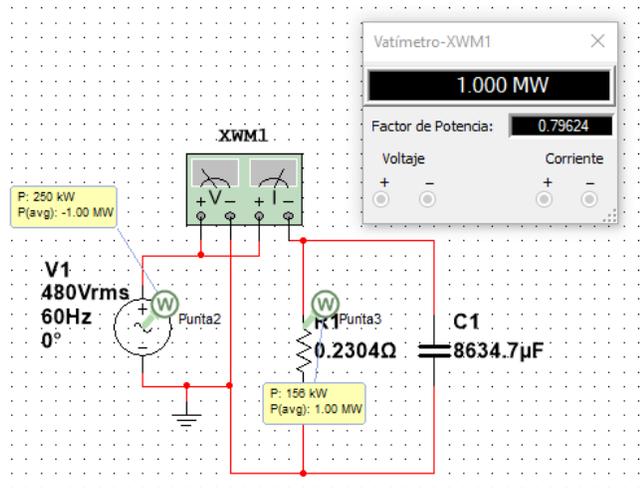
Teniendo en cuenta que la alimentación del banco de cargas eléctricas es de 240 y 480 VAC a una capacitancia máxima respectivamente, el consumo de potencia reactiva varía significativamente. Así que es necesario hacer el análisis para los dos casos.

Se tiene que, para lograr una potencia reactiva de 750 kVAR consumida y un factor de potencia de 0.8, con una potencia activa de 1000 kW, el sistema debe tener una capacitancia equivalente de 8634.7  $\mu\text{F}$  /480VAC y 34538.8  $\mu\text{F}$ /240VAC, como se indica la ecuación 16.

$$C = \frac{Q}{2\pi f V^2} \quad (16)$$

$$C = \frac{750k}{2\pi(60)480^2} = 8634.7 \mu\text{F}$$

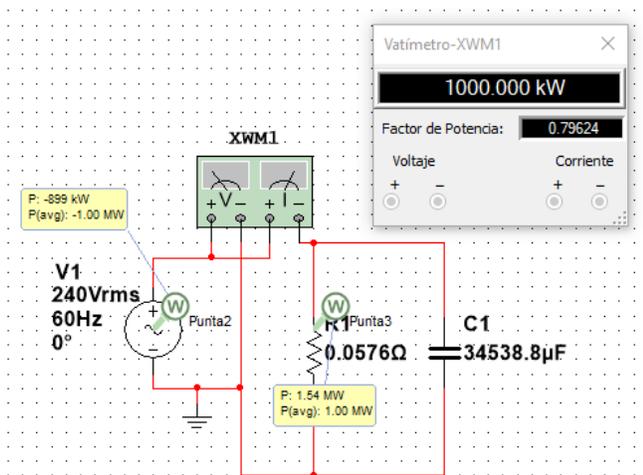
Figura 25. Capacitancia equivalente para 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$C = \frac{750k}{2\pi(60)240^2} = 34538.8 \mu F$$

Figura 26. Capacitancia equivalente para 240 VAC



Autoría propia – Multisim.

De esta forma se escogieron para 480 V AC condensadores trifásicos de 345  $\mu\text{F}$ , con una potencia reactiva absorbida por elemento de 30 kVAR, y para 240 VAC se optó por condensadores trifásicos de 1096  $\mu\text{F}$  con una potencia reactiva absorbida por elemento de 23.8 k VAR

La potencia reactiva absorbida para un condensador de 345  $\mu\text{F}$  a 480 V AC está dada por:

$$Q = V^2 C 2\pi f$$

$$Q = 480^2 (345\mu)(2\pi)(60)$$

$$Q = 29.96 \text{ kVAR}$$

$$Q_T = (25)29.96k = 749 \text{ kVAR}$$

Por lo que se requieren 25 condensadores de la referencia escogida.

Debido a que estas cargas se seccionan en pasos, se dividen de la siguiente forma:

- (4) pasos de 150 kVAR, requieren de 20 condensadores trifásicos, en el que 5 condensadores conectados por escalón. Este escalón esta a su vez subdividido en dos secciones de 60 kVAR y una de 30 kVAR.
- (1) paso de 75 kVAR, requieren de 3 condensadores trifásicos conectados en el escalón. Este escalón está a su vez subdividido en un paso de 60 kVAR y uno de 30 kVAR
- (2) pasos de 37.5 kVAR, requieren de 2 condensadores trifásicos, en el que 1 condensadores conectados por escalón.

Corriente nominal de fase para cada condensador de 115  $\mu\text{F}$  a 480 V AC

$$I = VC2\pi f \tag{17}$$

$$I = (480)(115\mu)2\pi(60)$$

$$I = 20.8 A$$

La potencia reactiva absorbida para un condensador de 365  $\mu$ F a 240 V AC está dada por:

$$Q = V^2 C 2\pi f$$

$$Q = 240(1096\mu)(2\pi)(60)$$

$$Q = 23.8 \text{ kVAR}$$

$$P_T = (31)23.8k = 738 \text{ kVAR}$$

Por lo que se requieren 31 condensadores de la referencia escogida.

Debido a que estas cargas se seccionan en pasos, se dividen de la siguiente forma:

- (4) pasos de 150 kVAR requieren de 24 condensadores trifásicos, en el que 6 condensadores están conectados por escalón. Este escalón esta a su vez subdividido en tres pasos de 47.6 kVAR.
- (1) paso de 75 kVAR requieren de 3 condensadores trifásicos conectados en el escalón. Este escalón esta a su vez subdividido en un paso de 47.6 kVAR y uno de 23.8 kVAR.
- (2) pasos de 37.5 kVAR requieren de 4 condensadores trifásicos, en el que 2 condensadores están conectados por escalón.

Corriente nominal de fase para condensador de 365  $\mu$ F a 240 V AC

$$I = VC2\pi f$$

$$I = (240)(365\mu)2\pi(60)$$

$$I = 33 A$$

Nota: El aporte de potencia reactiva por los condensadores de 480 V AC conectados a 240 V AC no es significativo por lo que se hacen arreglos de condensadores aislados.

A continuación, en la tabla 5 se evidencia el número necesario de condensadores para cada nivel de tensión.

Tabla 5. Requerimiento condensadores.

Condensadores trifásicos				
Cantidad de condensadores	Tensión (VAC)	Corriente consumida (A)	Capacitancia (F)	Potencia reactiva consumida (VAR)
25	480	21 A por línea	115u	9.98 kVAR por línea
31	240	33 A por línea	365u	7.92 kVAR por línea
<b>Total</b>	<b>56</b>			

Autoría propia – Word.

#### 4.1.3 Cargas inductivas

Para la elección de las cargas inductivas se debió primero realizar los respectivos cálculos.

De esta manera la inductancia equivalente para que el banco consuma 750 kVAR a 480 y 240 V AC es de 0.814 mH y 0.2037 mH respectivamente como lo indica la ecuación 18.

$$L = \frac{V^2}{Q2\pi f} \quad (18)$$

$$L = \frac{480^2}{(750k)2\pi(60)} = 0.814 \text{ mH}$$

$$L = \frac{240^2}{(750k)2\pi(60)} = 0.2037 \text{ mH}$$

Como una inductancia de estas características es tedioso de elaborar por los fabricantes, puesto que la corriente que circularía sería exageradamente grande para el contexto. Se decide realizar pasos en equivalencia a los pasos ya establecidos con la potencia activa, de esta manera el factor de potencia se mantiene en el mínimo deseado, dado que la longitud de sus vectores se mantiene en la misma proporción.

A continuación, se explica en detalle el cálculo de corriente, inductancia y potencia de consumo por línea para cada reactor que se componen en grupos inductivos organizados de la siguiente manera:

Tabla 6 Grupos inductivos.

Grupo	Potencia suministrada	Tensión de operación
1	150 kVAR	480 VAC
2	75 kVAR	480VAC
3	37.5 kVAR	480 VAC
4	150 kVAR	240 VAC
5	75 kVAR	240 VAC
6	37.5 kVAR	240 VAC

Autoría propia – Word.

#### **4.1.3.1 Cálculo de inductancias para 480 V AC**

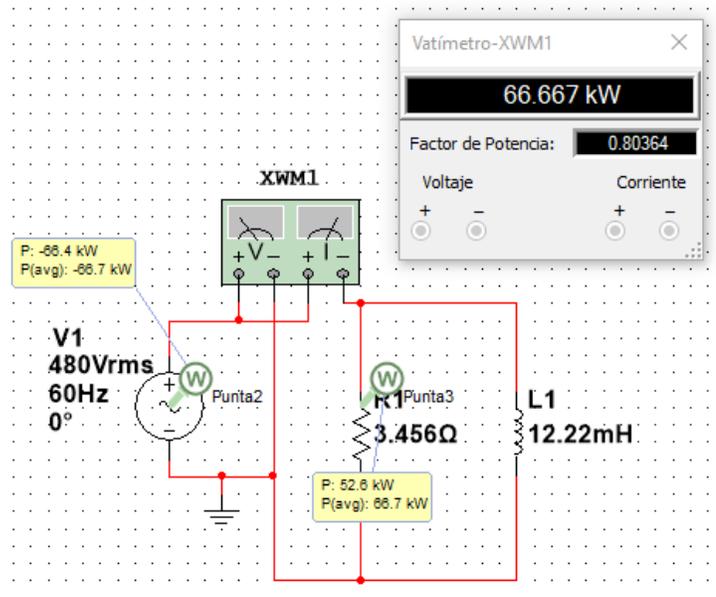
**Grupo 1, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 200 kW, consumo por línea de 50 kVAR.**

1 reactor con una inductancia por línea de 12.22 mH

$$L = \frac{480^2}{(50k)2\pi(60)} = 12.22 \text{ mH}$$

$$Q_l = \frac{480^2}{(12.22m)2\pi(60)} = 50 \text{ kVAR}$$

Figura 27. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 150 kVAR en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)50k = 150 \text{ kVAR}$$

Corriente nominal por línea

$$I_l = \frac{480}{(12.22m)2\pi(60)} = 104.19 \text{ A}$$

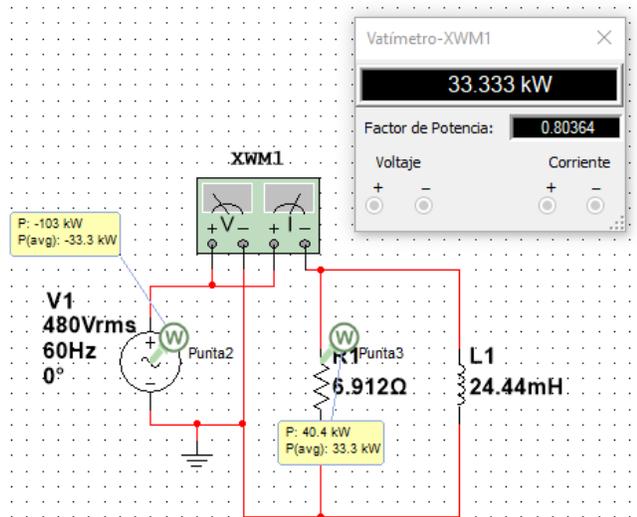
**Grupo 2, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 100 kW, consumo por línea de 25 kVAR.**

1 reactor con una inductancia por línea de 24.44 mH

$$L = \frac{480^2}{(25k)2\pi(60)} = 24.44 \text{ mH}$$

$$Q_l = \frac{480^2}{(24.44m)2\pi(60)} = 25 \text{ kVAR}$$

Figura 28. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 750 kVAR en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)25k = 75 \text{ kVAR}$$

Corriente nominal por línea

$$I_l = \frac{480}{(24.44m)2\pi(60)} = 52.1 \text{ A}$$

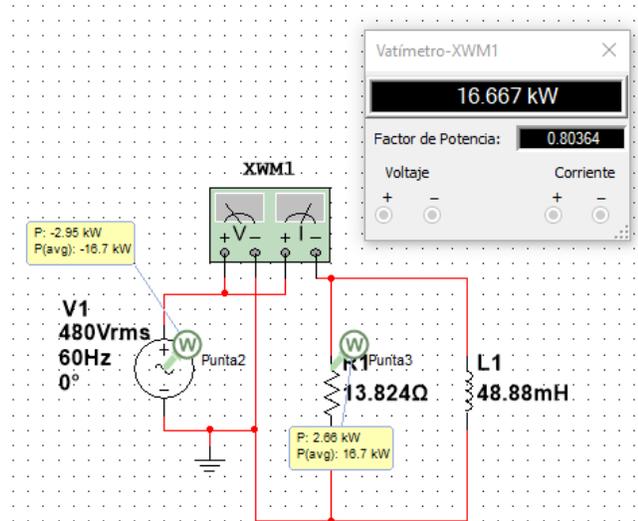
**Grupo 3, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 50 kW, consumo por línea de 12.5 kVAR**

1 reactor con una inductancia por línea de 48.88 mH

$$L = \frac{480^2}{(12.5k)2\pi(60)} = 48.88 \text{ mH}$$

$$Q_l = \frac{480^2}{(48.88m)2\pi(60)} = 12.5 \text{ kVAR}$$

Figura 29. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 37.5 kVAR en 480 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)12.5k = 37.5 \text{ kVAR}$$

Corriente nominal por línea

$$I_l = \frac{480}{(48.88m)2\pi(60)} = 26 \text{ A}$$

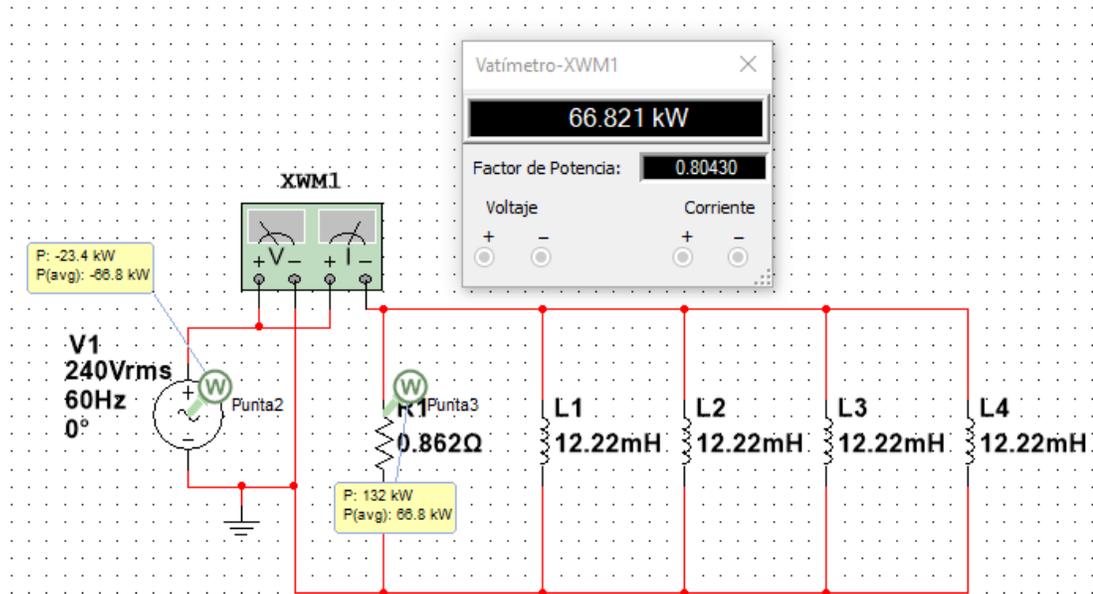
#### 4.1.3.2. Cálculo de inductancias para 240 V AC

**Grupo 4, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 200 kW, consumo por línea de 50 kVAR.**

La potencia reactiva suministrada por el reactor de 480 V AC para el paso de 150 kVAR, ahora conectadas en 240 V AC es de 12.5 kVAR por línea, por lo que se necesita adicionar 3 reactores más de 12.22 mH conectadas en paralelo por línea para sumar un total de 150 kVAR

$$Q_l = 12.5k + 3 \left( \frac{240^2}{(12.22m)2\pi(60)} \right) = 50 \text{ kVAR}$$

Figura 30. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 150 kVAR en 240 VAC



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)50k = 150 \text{ kVAR}$$

Corriente nominal por línea

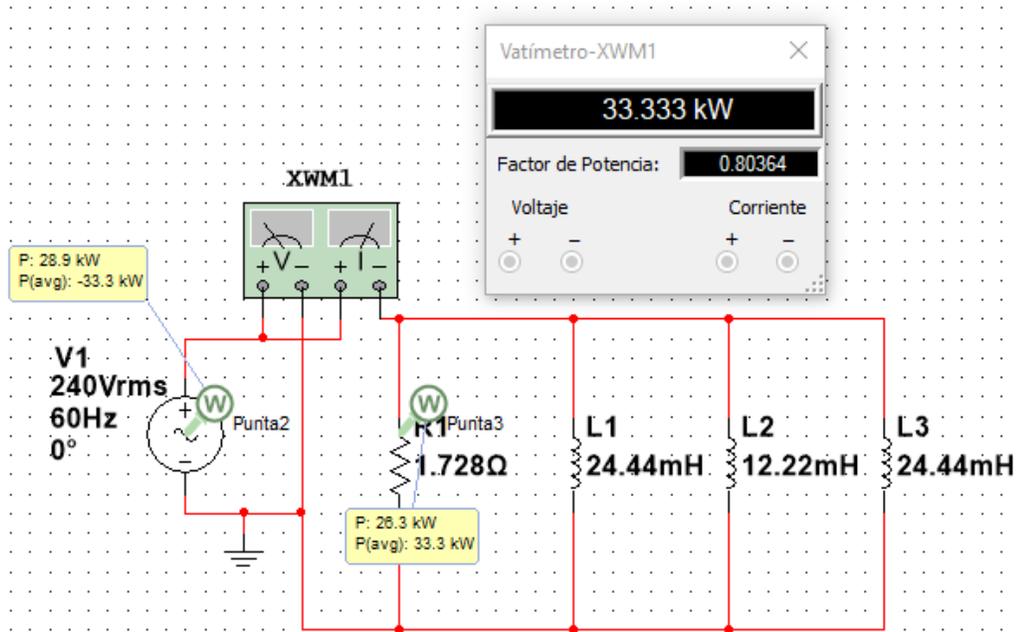
$$I_l = \frac{240}{(12.22m)2\pi(60)} = 52.1 \text{ A}$$

**Grupo 5, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 100 kW, consumo por línea de 25 kVAR.**

La potencia reactiva suministrada por el reactor de 480 V AC para el paso de 150 kVAR ahora conectadas en 240 V AC es de 6.25 kVAR por línea, por lo que se necesita adicionar 1 reactor más de 12.22 mH y otro de 24.44 mH conectadas en paralelo por línea para sumar un total de 75 kVAR

$$Q_l = 6.25k + \frac{240^2}{(12.22m)2\pi(60)} + \frac{240^2}{(24.44m)2\pi(60)} = 25 \text{ kVAR}$$

Figura 31. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 75 kVAR en 240 VAC.



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)25k = 75 \text{ kVAR}$$

Corriente nominal por línea

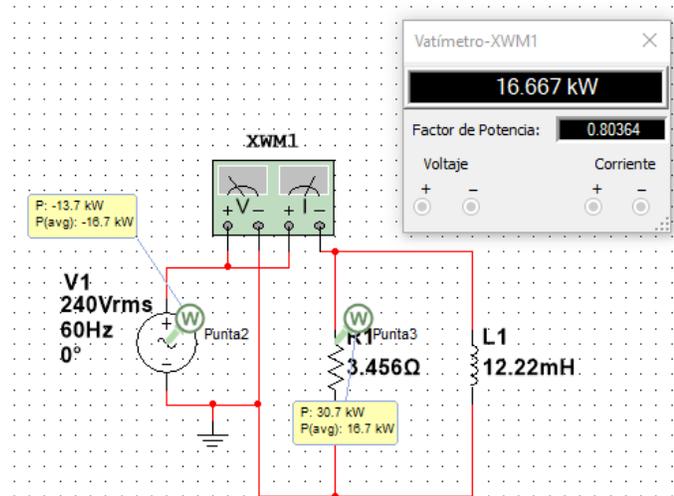
$$I_l = \frac{240}{(24.44m)2\pi(60)} = 26 \text{ A}$$

**Grupo 6, Fp 0.8 en equivalencia para escalón de 50 kW, consumo por línea de 12.5 kVAR.**

1 reactor con una inductancia por línea de 12.22 mH

$$Q_l = \frac{240^2}{(12.22m)2\pi(60)} = 12.5 \text{ kVAR}$$

Figura 32. Consumo inductivo por línea a un FP de 0.8, paso de 37.5 kVAR en 240 VAC.



Autoría propia – Multisim.

$$Q_T = (3)12.5k = 37.5 \text{ kVAR}$$

Nota: El diseño de un solo reactor por paso para la alimentación de 240 V AC no es viable ya que consume una corriente que excede los límites de fabricación.

En las tablas 7 y 8 se muestra los valores de inductancia, potencia consumida por el reactor, corriente de consumo por línea y la tensión de operación que se aplica.

Tabla 7. Requerimiento inductivo para 480 VAC.

Para 480 V AC				
Cantidad de Reactores	Tensión de operación (VAC)	Corriente consumida por línea (A)	Inductancia por línea (mH)	Potencia reactiva consumida por línea (kVAR)
4	480	104.2	12.22	50
1	480	52	24.44	25
2	480	26	48.88	12.5
<b>Total</b>	<b>7</b>			

Autoría propia – Word.

Tabla 8.Requerimiento inductivo para 240 VAC.

Para 240 V AC				
Cantidad de Reactores	Tensión de operación (VAC)	Corriente consumida por línea (A)	Inductancia por línea (mH)	Potencia reactiva consumida por línea (kVAR)
15	240	52.1	12.22	12.5
1	240	26	24.44	6.25
<b>Total</b>	16			

Autoría propia – Word.

## 4.2 ELEMENTOS DE MANIOBRA

### 4.2.1 Contactores

Para realizar una correcta selección de un contactor, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Numero de polos.
- Tipo o categoría de equipo contactor
  - AC1 (elementos resistivos)
  - AC3 (elementos inductivos)
- Corriente nominal.
- Claridad en la tensión de control.
- Verificación de requerimiento de contactos auxiliares.

Siguiendo estos parámetros según Schneider Electric<sup>19</sup>, a continuación, se da claridad evidenciando los valores, precios y referencias seleccionadas para las cargas resistivas, inductivas y capacitivas respectivamente.

El número de polos será de 3 para todos los tipos de cargas, puesto que se trabaja con un sistema trifásico.

<sup>19</sup>SCHNEIDER ELECTRIC. Correcta selección de Contactores. {En línea}.31de 05, 2020.Disponible en: <https://www.se.com/co/es/faqs/FA352332/>

#### **4.2.1.1 Contactores para resistencias**

Dado que se trata de cargas netamente resistivas, se utilizan contactores de tipo AC1

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 200 kW está dada por:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde V es el voltaje de operación y R la resistencia equivalente por línea del escalón.

Para 480 VAC.

$$I = \frac{480}{4.456} = 139 \text{ A}$$

Para 240 VAC.

En este caso como el juego de resistencias que se disponen para 480 VAC para un paso de 200 kW, también se conectan a 240 VAC, es pertinente analizar la corriente para este caso.

$$I = \frac{240}{3.456} = 69.4 \text{ A}$$

Con una corriente de 139 A por línea se suministra una potencia total del paso de 50 kW, los 150 kW faltantes son consumidos por el sistema de resistencias dispuestos con una corriente de 208.69 A por línea.

$$I = \frac{240}{1.15} = 208.69 \text{ A}$$

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 100 kW

Para 480 VAC

$$I = \frac{480}{6.912} = 69.4 \text{ A}$$

Para 240 VAC

En este caso como el juego de resistencias que se disponen para 480 VAC para un paso de 100 kW, también se conectan a 240 VAC, es pertinente analizar la corriente para este caso.

$$I = \frac{240}{6.912} = 34.7 \text{ A}$$

Con una corriente de 34.7 A por línea se suministra una potencia total del escalón de 25 kW, los 75 kW faltantes son consumidos por el sistema de resistencias dispuestos con una corriente de 104.16 A por línea.

$$I = \frac{240}{2.304} = 104.16 \text{ A}$$

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 50 kW

Para 480 VAC

$$I = \frac{480}{13.824} = 34.7 \text{ A}$$

Para 240 VAC

En este caso como el juego de resistencias que se disponen para 480 VAC para un paso de 50 kW, también se conectan a 240 VAC, es pertinente analizar la corriente para este caso.

$$I = \frac{240}{13.824} = 17.36 \text{ A}$$

Con una corriente de 17.36 A por línea se suministra una potencia total del paso de 12.5 kW, los 37.5 kW faltantes son consumidos por el sistema de resistencias dispuestos con una corriente de 52.08 A por línea.

$$I = \frac{240}{4.608} = 52.08 \text{ A}$$

Estos valores de corriente circulan sobre cada paso a una tensión de 480 o 240 VAC dependiendo del requerimiento. Como las resistencias de 480 VAC están sometido a las dos tensiones, las corrientes varían, por ello se opta por el valor de corriente más alto para la selección del contactor.

A continuación, en la tabla 9 se identifican los elementos de maniobra seleccionados, junto a sus requerimientos técnicos.

Tabla 9. Selección de contactores para resistencias.

Carga	Marca	Referencia	Número de polos	Categoría de contactor	Tensión de bobina (VAC)	Corriente nominal (A)	Cantidad de contactores	Precio COP	Subtotal
200 kW/480 VAC	ABB	1SFL44700 1R1311	3	AC1	100-250	200	4	2.030.000	8120000
200 kW/240 VAC	ABB	1SFL48700 2R1311	3	AC1	100-250	275	4	2.230.000	8920000
100 kW/480 VAC	ABB	1SBL39700 1R1300	3	AC1	100-250	125	1	1.374.000	1374000
100 kW/240 VAC	ABB	1SFL42700 1R1311	3	AC1	100-250	160	1	1.663.000	1663000
50 kW/480 VAC	ABB	1SBL29700 1R1300	3	AC1	100-250	50	2	802.000	1604000
50 kW/240 VAC	ABB	1SBL34700 1R1300	3	AC1	100-250	70	2	843.000	1686000
								<b>TOTAL</b>	<b>23.367.000</b>

Autoría propia – Word.

#### 4.2.1.2 Contactores para inductores

Para el caso de los elementos inductivos (reactores), se optó por contactores de la categoría AC3

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 150 kVAR está dada por la ecuación 19:

$$I = \frac{V}{L2\pi f} \quad (19)$$

Donde V es la tensión de operación, L la inductancia equivalente por línea y f la frecuencia de operación

Para 480 VAC

$$I = \frac{480}{(0.01222)2\pi(60)} = 104.2 A$$

Para 240 VAC

Como el reactor dispuesto para el paso de 150 kVAR a 480 VAC se conecta a 240 VAC, es necesario determinar también la corriente que circula a este valor de tensión

$$I = \frac{240}{(12.22m)2\pi(60)} = 52.1 A$$

Para suplir la potencia reactiva completa del paso de 150 kVAR a 240 VAC, se tiene una corriente nominal por línea de:

$$I = \frac{240}{(4.07m)2\pi(60)} = 156.4 A$$

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 75 kVAR

Para 480 VAC

$$I = \frac{480}{(24.44m)2\pi(60)} = 52.1 A$$

Para 240 VAC

Como el reactor dispuesto para el paso de 75 kVAR a 480 VAC se conecta a 240 VAC, es necesario determinar también la corriente que circula a este valor de tensión

$$I = \frac{240}{(24.44m)2\pi(60)} = 26 A$$

Para suplir la potencia reactiva completa del paso de 75 kVAR a 240 VAC, se tiene una corriente nominal por línea de:

$$I = \frac{240}{(8.14m)2\pi(60)} = 78.2 A$$

- La corriente nominal que debe soportar un elemento de maniobra para un escalón de 37.5 kVAR

Para 480 VAC

$$I = \frac{480}{(48.88m)2\pi(60)} = 26 A$$

Para 240 VAC

$$I = \frac{240}{(12.22m)2\pi(60)} = 52.1 A$$

Los valores de corrientes descritos anteriormente pertenecen a cada paso dispuesto para suplir la potencia reactiva requerida en cada paso. Para la elección de los contactores adecuados se seleccionan las corrientes más altas teniendo en cuenta si su conexión es a 480 y 240 VAC o solo a 240 VAC

En la tabla 10 se muestran de forma más compacta los elementos de maniobra seleccionados para las cargas inductivas.

Tabla 10. Selección de contactores para reactores.

Carga	Marca	Referencia	número de polos	Categoría de contactor	Tensión de bobina	Corriente nominal por línea (A)	Cantidad de contactores	Precio COP	Subtotal
150 kVAR/480 VAC	ABB	1SFL447001R1311	3	AC3	100-250 VAC	140	4	2.030.000	8120000
150 kVAR/240 VAC	ABB	1SFL487002R1311	3	AC3	100-250 VAC	190	4	2.230.000	8920000
75 kVAR/480 VAC	ABB	1SBL397001R1300	3	AC3	100-250 VAC	80	1	1.374.000	1374000
75 kVAR/240 VAC	ABB	1SFL427001R1311	3	AC3	100-250 VAC	116	1	1.663.000	1663000
37.5 kVAR/480 VAC	ABB	1SBL297001R1300	3	AC3	100-250 VAC	38	2	802.000	1604000
37.5 kVAR/240 VAC	ABB	1SBL387001R1300	3	AC3	100-250 VAC	65	2	1.203.000	2406000
								<b>TOTAL</b>	<b>24087000</b>

Autoría propia – Word.

#### **4.2.1.3. Contactores para condensadores**

Para la selección de los contactores adecuados, se tomó como referencia la potencia reactiva consumida, además de tener claridad que son de tres polos. Por otro lado, la tensión para la bobina de control es de 220 VAC.

Estos contactores para accionamientos de condensadores tienen la particularidad de contar con una resistencia de precarga para cada línea del contactor. Esta resistencia tiene como fin limitar la corriente de entrada cuando los condensadores están conectados, pues la corriente de excitación puede llegar a ser 100 veces la corriente nominal, siendo la resistencia de precarga una limitante ante este riesgo. Así mismo, la resistencia se desconecta automáticamente luego de 5 milisegundos para liberar el proceso<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> WEG. Contactores para maniobra de condensadores. {En línea}.17 de 07 de 2018. Disponible en: [https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Controls/Contactores/Contactores-para-maniobra-de-condensadores/c/GLOBAL\\_WDC\\_CTL\\_CAPS\\_CONTACTORS](https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Controls/Contactores/Contactores-para-maniobra-de-condensadores/c/GLOBAL_WDC_CTL_CAPS_CONTACTORS)

En la tabla 11 se muestra de forma más específica los contactores seleccionados.

Tabla 11. Selección de contactores para condensadores.

Carga	Marca	Referencia	número de polos	Tipo de contactor	Tensión bobina de control	Potencia reactiva consumida	Cantidad de contactores	Precio COP	Subtotal
60 kVAR/480 VAC	Siemens	3RT2636-1AN25	3	Accionamiento para condensadores con resistencia de precarga	220 VAC	60 kVAR	9	1.034.800	9313200
30 kVAR/480 VAC	Siemens	3RT2627-1AL25	3	Accionamiento para condensadores con resistencia de precarga	220 VAC	30 kVAR	7	499.000	3493000
47.6 kVAR/240 VAC	Siemens	3RT2646-1AL23	3	Accionamiento para condensadores con resistencia de precarga	220 VAC	57 kVAR	27	2.199.000	59373000
30 kVAR/240 VAC	Siemens	3RT2637-1AN23	3	Accionamiento para condensadores con resistencia de precarga	220 VAC	30 kVAR	1	1.034.000	1034000
								<b>TOTAL</b>	<b>73213200</b>

Autoría propia – Word.

### 4.3 FUSIBLES

Según la norma técnica colombiana NTC 2797 establece dentro de su contenido, los aspectos importantes a tener en cuenta para la correcta selección de elementos de protección como lo son los fusibles.

Los principales parámetros que determinar los valores nominales de un fusible para un punto específico de sistema son:

- Corriente de carga
- Tensión del sistema
- Relación X/R y máxima corriente de falla posible en el punto de aplicación

En el mercado se encuentran variedad de fusibles, dentro de sus clasificaciones se encuentran las siguientes características: tensión de operación, corriente de fusión, tamaño, aplicación, entre otras.

Debido al valor de corriente que circula por las cargas y que la tensión de operación es menos a 600 VAC, se escogen los fusibles de tipo Gg (Uso general con acción retardada) y de tipo NH (Alta capacidad de ruptura)

La selección de los fusibles se estableció a partir del tipo de carga a proteger. A continuación, en las tablas 12, 13 y 14 respectivamente, se relacionan las corrientes máximas de operación por línea dependiendo del escalón o subescalón para el caso de los condensadores, la tensión de operación, arreglo de fusibles que se identifican en los diagramas eléctricos y corriente de fusión del fusible seleccionado.

Es de resaltar que los valores comerciales para las corrientes de fusión, son preestablecidas para la mayoría de proveedores, al igual que los voltajes de operación.

Tabla 12 Selección de fusibles para resistencias.

Carga	Tensión de operación	Identificación de fusibles(Según figura 38)	Corriente por línea	Corriente de fusión
200 kW	480 VAC	F1 a F3	138 A	160 A
200 kW	480 VAC	F4 a F6	138 A	160 A
200 kW	480 VAC	F7 a F9	138 A	160 A
200 kW	480 VAC	F10 a F12	138 A	160 A
100 kW	480 VAC	F13 a F15	70 A	80 A
50 kW	480 VAC	F16 a F18	35 A	50 A
50 kW	480 VAC	F19 a F21	35 A	50 A
200 kW	240 VAC	F22 a F24	209 A	224 A
200 kW	240 VAC	F25 a F27	209 A	224 A
200 kW	240 VAC	F28 a F30	209 A	224 A
200 kW	240 VAC	F31 a F33	209 A	224 A
100 kW	240 VAC	F34 a F36	104 A	125 A
50 kW	240 VAC	F37 a F39	52 A	63 A
50 kW	240 VAC	F40 a F42	52 A	63 A

Autoría propia – Word.

Tabla 13 Selección de fusibles para inductancias.

Carga	Tensión de operación	Identificación de fusibles(Según figura 39)	Corriente por línea	Corriente de fusión
150 kVAR	480 VAC	F43 a F45	104.2 A	125 A
150 kVAR	480 VAC	F46 a F48	104.2 A	125 A
150 kVAR	480 VAC	F49 a F51	104.2 A	125 A
150 kVAR	480 VAC	F52 a F54	104.2 A	125 A
75 kVAR	480 VAC	F55 a F57	52 A	63 A
37.5 kVAR	480 VAC	F58 a F60	26 A	32 A
37.5 kVAR	480 VAC	F61 a F63	26 A	32 A
150 kVAR	240 VAC	F64 a F66	156.4 A	160 A
150 kVAR	240 VAC	F67 a F69	156.4 A	160 A
150 kVAR	240 VAC	F70 a F72	156.4 A	160 A
150 kVAR	240 VAC	F73 a F75	156.4 A	160 A
75 kVAR	240 VAC	F76 a F78	78 A	100 A
37.5 kVAR	240 VAC	F79 a F81	52 A	63 A
37.5 kVAR	240 VAC	F82 a F84	52 A	63 A

Autoría propia – Word.

En cuanto a los condensadores, debido a las elevada sobrecorriente de conexión, los fusibles deben calibrarse a un valor de 1,6 a 2 veces la corriente nominal del condensador a proteger.

Tabla 14 Selección de fusibles para condensadores.

Carga	Tensión de operación	Identificación de fusibles (Según figuras 40 y 41)	Corriente por línea	Corriente de fusión
60 kVAR	480 VAC	F85 a F87	72A	125 A
60 kVAR	480 VAC	F88 a F90	72A	125 A
30 kVAR	480 VAC	F91 a F93	36 A	63 A
60 kVAR	480 VAC	F94 a F96	72A	125 A
60 kVAR	480 VAC	F97 a F99	72A	125 A
30 kVAR	480 VAC	F100 a F102	36 A	63 A
60 kVAR	480 VAC	F103 a F105	72A	125 A
60 kVAR	480 VAC	F106 a F108	72A	125 A
30 kVAR	480 VAC	F109 a F111	36 A	63 A
60 kVAR	480 VAC	F112 a F114	72A	125 A
60 kVAR	480 VAC	F115 a F117	72A	125 A
30 kVAR	480 VAC	F118 a F120	36 A	63 A
60 kVAR	480 VAC	F121 a F123	72A	125 A
30 kVAR	480 VAC	F124 a F126	36 A	63 A
30 kVAR	480 VAC	F127 a F129	36 A	63 A
30 kVAR	480 VAC	F130 a F132	36 A	63 A
47.6 kVAR	240 VAC	F133 a F135	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F136 a F138	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F139 a F141	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F142 a F144	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F145 a F147	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F148 a F150	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F151 a F153	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F154 a F156	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F157 a F159	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F160 a F162	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F163 a F165	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F166 a F168	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F169 a F171	114 A	200 A
23.8 kVAR	240 VAC	F172 a F174	57 A	100 A
47.6 kVAR	240 VAC	F175 a F177	114 A	200 A
47.6 kVAR	240 VAC	F178 a F180	114 A	200 A

Autoría propia – Word.

## 5. SISTEMA DE VENTILACIÓN

Dado que las cargas disipan potencia en forma de calor, de aquí la importancia de un sistema de ventilación que refrigere y/o extraiga el aire caliente de los elementos en cuestión. Esto con el fin de evitar sobrecalentar el sistema y tomar medidas de control ante posibles excesos caloríficos. Para esta aplicación se plantea un sistema de ventilación forzado con ventiladores o extractores de tipo axial.

Figura 33 Ventilador axial.



Autoría – Sodeca. Recuperado de:  
[https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE11\\_HFW\\_60HZ\\_2017ES.pdf](https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE11_HFW_60HZ_2017ES.pdf)

Para emplear acciones de control a la ventilación, se decidió plantear dos sistemas, uno con lógica de contactos y otro con un controlador lógico programable. A continuación, se explica de forma más detallada cada uno de ellos.

Para ello es preciso determinar el caudal de aire necesario para disipar la potencia consumida por las cargas resistivas<sup>21</sup>, la ecuación 20 determina una aproximación que se maneja para esta necesidad.

---

<sup>21</sup> COOLINGZONE. Sistema de ventilación. {En línea}. 11 de 07 de 2013. Disponible en: <https://www.coolingzone.com/index.php>

$$Q = \frac{f * P}{\Delta T} \quad (20)$$

Dónde:

Q: Caudal de aire, expresado en ( $m^3/h$ )

f: factor de aire

P: Potencia calorífica a evacuar, expresado en Watts

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura que se quiere entre el interior del armario y el exterior.

El valor de factor de aire depende de la altura al nivel de mar en que se trabaja, para lo que se dispone de la tabla 15 para su selección.

Tabla 15. Factor de aire para cálculo de caudal.

Altura sobre el nivel del mar	Factor de aire (f)
Entre 0 y 100 m	3.1
Entre 100 y 250m	3.2
Entre 250 y 500 m	3.3
Entre 500 y 750 m	3.4
Entre 750 y 1000 m	3.5

Autoría propia – Word.

Se emplea un factor de aire de 3.5, una potencia calorífica a evacuar de 1000 kW y una diferencia de temperatura de 15 grados, contando con una temperatura del exterior de 35 grados, y una interior de 50 grados, este último valor está sujeto a modificaciones. Obteniendo así un valor de 233.33 k ( $m^3/h$ ).

Como se dijo anteriormente, los ventiladores serán de tipo axial, se prefieren de este tipo porque la salida de aire es paralela al eje de rotación de las aspas del ventilador, así mismo su alimentación será trifásica y su conexión en paralelo a la red del banco de cargas.

En la tabla 16 se muestra el caudal de aire necesario para cada escalón.

Tabla 16. Caudal de aire necesario por escalón.

Escalones de potencia	Caudal de aire
200 kW	46.66 m <sup>3</sup> /h
100 kW	23.33 m <sup>3</sup> /h
50 kW	11.66 m <sup>3</sup> /h

Autoría propia – Word.

Para cumplir con este caudal de aire, a continuación, se muestra lo parámetros técnicos de los ventiladores seleccionados.

Tabla 17 Requerimiento ventiladores axiales.

Marca	Referencia	Tipo de Ventilador	Tensión de alimentación	Corriente máxima		Potencia consumida	Caudal máximo	Cantidad de ventiladores
				220/277 VAC	380/480 VAC			
Sodeca	HFW-63-4T-4	Axial	480/240 VAC	10.96 A	6.33 A	3 kW	24250 m <sup>3</sup> /h	9
Sodeca	3RT2627-1AL25	Axial	480/240 VAC	4.03 A	2.32 A	1.1 kW	13600 m <sup>3</sup> /h	2

Autoría propia – Word.

### 5.1. Sistema de ventilación por lógica de contactos.

Es ineficiente activar n cantidad de ventiladores si su caudal de aire es exageradamente superior ante la potencia que se desea evacuar.

Apoyado en la selección de los escalones resistivos, se tiene un valor fijo de potencia que consumirá el sistema, de esta forma se puede determinar el caudal necesario para disipar conforme se activan o desactivan los pasos.

Lo que se pretende es activar los ventiladores acordes a la demanda de potencia del sistema.

La activación será de forma inmediata y su conexión en paralelo a la señal que activa los contactores para en caso que se necesite. En la figura 42 de anexos se muestra su conexión.

## **5.2. Sistema de ventilación Automatizado**

Este control se realiza a partir de tomar la variable de temperatura como entrada análoga al controlador lógico programable, De esta forma a la salida dependiendo de las escalas de temperatura se obtiene la activación de cada uno de los ventiladores necesarios para disipar la potencia consumida por las resistencias.

Además, cuando se supere el límite de temperatura máximo considerado, en autómatas enviará una señal de paro de emergencia que apagará por completo el banco de cargas.

### *Requerimientos:*

En el mercado existen variedad de sensores de temperatura y sus rangos de medición son bastante amplios, su alimentación debe ser de 24 Voltios para poder alimentarlo a la misma entrada de alimentación del controlador, su salida análoga será de 0 a 10 V, esto por la entrada análoga definida del autómatas.

En cuanto al controlador se establece la necesidad de contar con al menos una entrada análoga, ocho salidas digitales para este caso salidas a relé, su alimentación será de 24 V por lo que será necesario una fuente de alimentación que se conecte a la entrada auxiliar del banco de cargas.

*Selección:*

Los elementos seleccionados que cumplen con estas necesidades son:

- Controlador de la marca Schneider electric, de la referencia SR3B261BD
- Sensor de temperatura serie PT100 0-10V salida<sup>22</sup>

El diagrama eléctrico se muestra en las figuras 43 y 44 de anexos.

La programación se realiza en el Software Zelio Soft 2, el controlador ofrece dos tipos de lenguaje para su programación, Ladder y BFD, se utiliza diagrama de bloque de funciones. En los anexos se evidencia la programación.

---

<sup>22</sup>ALIBABA. Sensores de temperatura.{En línea}. 2020. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/lowest-price-0-10v-high-quality-industrial-temperature-sensor-60714054571.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikehoz.5.75db54578VbNkV](https://spanish.alibaba.com/product-detail/lowest-price-0-10v-high-quality-industrial-temperature-sensor-60714054571.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikehoz.5.75db54578VbNkV)

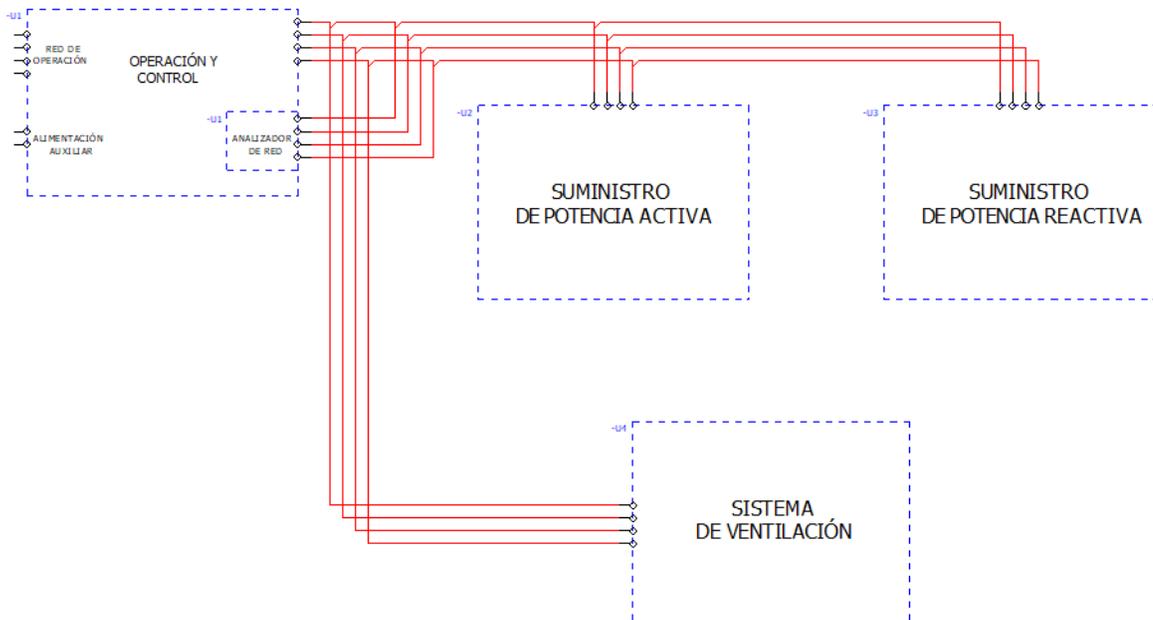
## 6. DIAGRAMAS Y PLANOS

El funcionamiento estructurado del banco de cargas se compone por:

- Conexiones generales
- Suministro de potencia activa
- Suministro de potencia reactiva
- Acción de control o manipulación
- Analizador de red
- Sistema de ventilación

A continuación, se expone cada uno de ellos, con el fin de aportar una explicación más detallada al funcionamiento del banco de cargas, exceptuando el sistema de ventilación y analizador de red que son expuestos con detalle en el capítulo 5 y anexos respectivamente.

Figura 34 Distribución general banco de cargas.



*Autoría propia – EPLAN Electric*

## **6.1. Conexiones generales**

Como se ha venido mencionando el banco de cargas esta propuesto para conexiones trifásicas de 480 y 240 VAC L-L depende de la necesidad de la prueba. Estas líneas serán en el plano L1, L2, L3 y N, de ellas se desprenden las líneas que llegan a las cargas resistivas, capacitivas e inductivas, así como a los ventiladores y sistema de monitoreo por parte del visualizador de datos.

Para poder alimentar el analizador de red, PLC, activar las cargas y ventiladores, es necesario de una entrada auxiliar de alimentación externa de 220 VAC L-L, con ella también se brinda seguridad al sistema para inicializarlo o ejecutar una parada.

Adicionalmente se cuenta con interruptores inicio y paro de emergencia, así como testigos lumínicos que indican si la alimentación auxiliar está conectada y si el interruptor de ON/OFF está energizado.

En la figura 37 de anexos se muestra el plano eléctrico.

## **6.2. Suministro de potencia activa**

Las cargas resistivas darán el suministro de potencia activa al banco de cargas, de esta forma se ubican los escalones como se indica en el plano, en el que cada escalón está constituido por:

- Fusible por línea para protección contra sobrecorriente.
- Contactor de activación.
- Arreglo de resistencias por línea.

En la parte inferior de cada paso se indica la resistencia equivalente del escalón y la potencia suministrada a 480 y 240 VAC respectivamente, de solo aparecer una lectura indica que este arreglo solo estará conectado a 240 VAC

Es de aclarar que:

- Los contactores Q1 a Q7 son para las cargas netamente alimentadas a 480 VAC
- Los contactores de Q8 a Q14 se activan en paralelo con los contactores de 480 VAC al mismo paso necesario en 240 VAC, esto para suplir la demanda total de potencia requerida.

En la figura 38 de los anexos se muestra el diagrama eléctrico.

### **6.3. Suministro de potencia reactiva**

Un requisito del banco de cargas es que el factor de potencia baje hasta 0.8 en adelanto (cargas capacitivas) o atraso (cargas inductivas), para esto se realizaron los cálculos en el capítulo anterior.

De igual forma que las cargas resistivas, cada escalón cuenta con fusibles de protección contra sobrecorriente para cada línea, contactor de activación especial para cada tipo de carga y el arreglo de reactancias necesario para cada paso.

#### ***Cargas inductivas***

En el plano de cargas inductivas se muestra la inductancia equivalente por paso, así como su consumo de potencia reactiva para 480 y 240 VAC respectivamente ubicados en la parte inferior de cada escalón. Al igual que las cargas resistivas, de no encontrarse las dos lecturas, se asume que estas solo serán utilizadas para una alimentación de 240 VAC, con excepción de las cargas conectadas a los contactores Q20 y Q21 que se activarán solo para 480 VAC.

Es de aclarar que:

- Los contactores Q15 a Q21 son para las cargas netamente alimentadas a 480 VAC

- Los contactores de Q22 a Q26 se activan en paralelo con los contactores de 480 VAC al mismo paso necesario en 240 VAC, esto para suplir la demanda total de potencia reactiva requerida.
- Los contactores Q27 y Q28 solo estarán dispuestos para ser alimentados a 240 VAC

***Cargas capacitivas***

Debido a los límites de potencia máxima soportada por los contactores para los capacitores, se debió segmentar los pasos de manera que al sumar la potencia de cada sección se obtenga la potencia reactiva total del paso.

Por otro lado, los arreglos de los capacitores son aislados para cada tipo de tensión, se tiene un plano para cada alimentación.

Donde para 480 VAC se disponen los contactores de Q29 a Q44, dispuestos de la siguiente forma como se indica en tabla 18.

Tabla 18. Segmentación de potencia reactiva capacitiva para 480 VAC.

Escalón de potencia reactiva capacitiva	Segmento de contactores
150 kVAR	Q29 a Q31
150 kVAR	Q32 a Q34
150 kVAR	Q35 a Q37
150 kVAR	Q38 a Q40
75 kVAR	Q41 a Q42
37.5 kVAR	Q43
37.5 kVAR	Q44

Autoría propia – Word.

Y para 240 VAC se dispone de los contactores de Q45 a Q60, dispuestos de la siguiente forma en la tabla 19.

Tabla 19. Segmentación de potencia reactiva capacitiva para 240 VAC.

Escalón de potencia reactiva capacitiva	Segmento de contactores
150 kVAR	Q45 a Q47
150 kVAR	Q48 a Q50
150 kVAR	Q51 a Q53
150 kVAR	Q54 a Q56
75 kVAR	Q57 a Q58
37.5 kVAR	Q59
37.5 kVAR	Q60

Autoría propia – Word.

En la figura 39 de anexos se evidencia el plano de las cargas inductivas

En las figuras 40 y 41 de anexos se evidencia el plano de las cargas capacitivas.

#### **6.4 Acción de control o manipulación**

Para poder seleccionar algún tipo de carga por los escalones definidos con anterioridad, ya sean resistivos capacitivos o inductivos se hará manipulación de un selector de tres posiciones en donde se podrá tener tres estados:

- OFF (Apagado)
- Selector para 480 VAC.
- Selector para 240 VAC.

De esta forma, dependiendo de la necesidad se activarán los escalones que se requieran en la prueba.

#### ***Control para potencia activa***

Una vez seleccionado el escalón a comodidad, este activará un relé que a su vez llevará la señal a la bobina del contactor en el grupo seleccionado.

La lógica de contactos está planteada para que cuando se opere a una tensión de 480 VAC solo se active el contactor del grupo elegido, y cuando su operación sea

a 240 VAC se activen los dos grupos requeridos para garantizar el consumo neto de potencia activa.

***Control para potencia reactiva***

Por condiciones de seguridad, una vez activo algún escalón resistivo a una tensión definida, se podrá decidir activar o no alguna reactancia (inductiva o capacitiva) con el fin de bajar el factor de potencia a 0.8. Esto se realiza con el fin de prevenir errores en la operación y evitar bajar el factor a un número más bajo, lo cual podría perjudicar de gran manera el generador que se esté probando.

***Control para sistema de ventilación por lógica de contactos.***

Los ventiladores en relación a su caudal de aire y potencia a disipar, se encenderán en paralelo al escalón resistivo que se active, sin importar si su tensión de operación es de 480 o 240 VAC.

En la figura 42 de anexos, se evidencia el plano eléctrico del sistema de operación y control.

## 7 CONCLUSIONES

Al tratarse de un diseño robusto por la magnitud de los requerimientos de la empresa Protección automatización y control SAS, el documento planteó un diseño de un banco de cargas cumpliendo con las necesidades exigidas por la empresa en cuanto a tensión de operación, límite de potencia activa y factor de potencia deseado en adelanto y atraso. Se realizaron simulaciones en el software Multisim para sustentar los datos y la selección de los elementos que mejor se adecuaban a los requerimientos. Se plasmaron los diagramas eléctricos de las cargas, y su control por medio de lógica de contactos, por otro lado, se planteó el sistema de ventilación que protegerá las cargas eléctricas de acuerdo a la demanda de potencia presente en el sistema.

Se planteó la implementación de un analizador de red que muestre en tiempo real las variables del banco de carga, en este orden de ideas, para futuras mejoras se puede habilitar más herramientas existentes en el analizador para proteger la integridad del sistema.

Para la empresa Protección automatización y control SAS, el diseño de un banco de cargas eléctricas plasmado en el presente proyecto, es el pilar que abre los campos de operación para incursionar en un nuevo mercado.

## 8 ANEXOS

### 8.1. ANALIZADOR DE RED

Teniendo en cuenta que las tensiones y corrientes que circulan por el banco de cargas son de gran magnitud, y las variables con las que se trabajan son diversas, tales como, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente. Se estableció la necesidad de tener la visualización en tiempo real de estos datos.

La importancia de esta necesidad radica en tener el control del proceso en todo momento, además de minimizar riesgos ante situaciones adversas que puedan alterar el funcionamiento del proceso y no estar al tanto de las condiciones de operación.

Siguiendo este orden, se recurrió a las ventajas que tienen los analizadores de red para este tipo de aplicaciones.

Un analizador de red es una unidad de medida basada en microprocesador que permite medir la mayoría de magnitudes eléctricas en una red de distribución de energía eléctrica bifásica o trifásica. Las mediciones se muestran en la pantalla integrada.

Se puede utilizar como dispositivo de registro de datos para un Sistema Inteligente de distribución de Potencia o un sistema de automatización de planta<sup>23</sup>.

Para este caso se seleccionó un analizador de red de la marca DEIF, de la referencia MIC

2 MKII Multiinstrumento, esta elección se realizó debido a que la empresa Protección automatización y control SAS es representante de esta marca, lo cual facilita el proceso de adquisición.

---

<sup>23</sup>DEIF.Soluciones de potencia.{En línea}. 2020. Disponible en: <https://www.deif.es/subsegments/critical-power>

El multi-instrumento MIC 2 MKII está en la capacidad de medir magnitudes como:

- Tensión (valores verdaderos eficaces: de cada fase, de la tensión entre fases y del valor medio)
- Corriente (de cada fase, del valor medio y de neutro)
- Potencia activa (P) (de cada fase, potencia total)
- Potencia reactiva (Q) (de cada fase, potencia total)
- Potencia aparente (S) (potencia total de cada fase)
- Factor de potencia (de cada fase y factor de potencia total)
- Frecuencia
- Frecuencia real
- Tipo de carga (inductiva/Capacitiva/Resistiva)

Para su conexionado con el banco de carga es preciso utilizar transformadores de corriente y transformadores de voltaje para cada línea, esto con el fin de sensar de una manera correcta las variables de entrada.

En cuanto a su alimentación requiere de una tensión de 100 hasta 240 L-L, que será suministrada por la alimentación auxiliar del banco.

En la figura 45 se muestra el diagrama eléctrico.

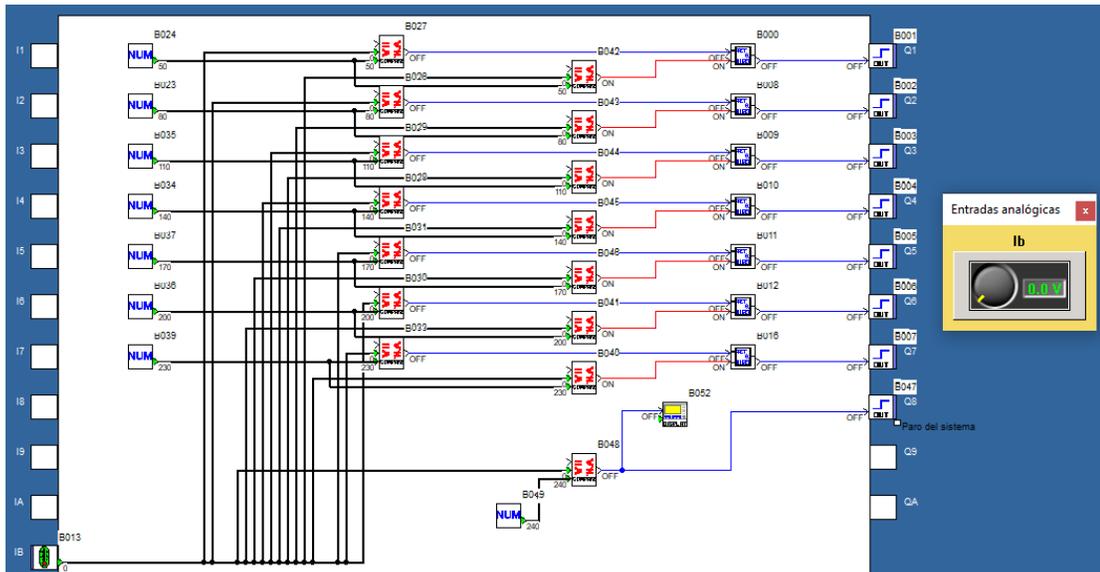
Figura 35 Analizador de red MIC 2 MKII, DEIF.



Autoría – DEIF. Recuperado de: <https://www.deif.es/products/mic-2-mkii>

## 8.2. PROGRAMACIÓN EN ZELIO SOFT 2

Figura 36. Programación BFD Sistema de ventilación.



Autoría propia – Software Zelio Soft 2.

## 8.3. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS.

A continuación, se muestran los planos eléctricos del banco de cargas, se organizan de la siguiente manera:

- Plano #1 Conexiones generales
- Plano #2 Cargas resistivas
- Plano #3 Cargas inductivas
- Plano #4 Cargas capacitivas 480 VAC
- Plano #5 Cargas capacitivas 240 VAC
- Plano #6 Operación y control
- Plano #7 Ventiladores
- Plano #8 Sistema de ventilación automatizado
- Plano #9 Analizador de red

Nota: En el PDF adjunto se muestran en mejor calidad los planos.

Figura 37 Conexiones generales.

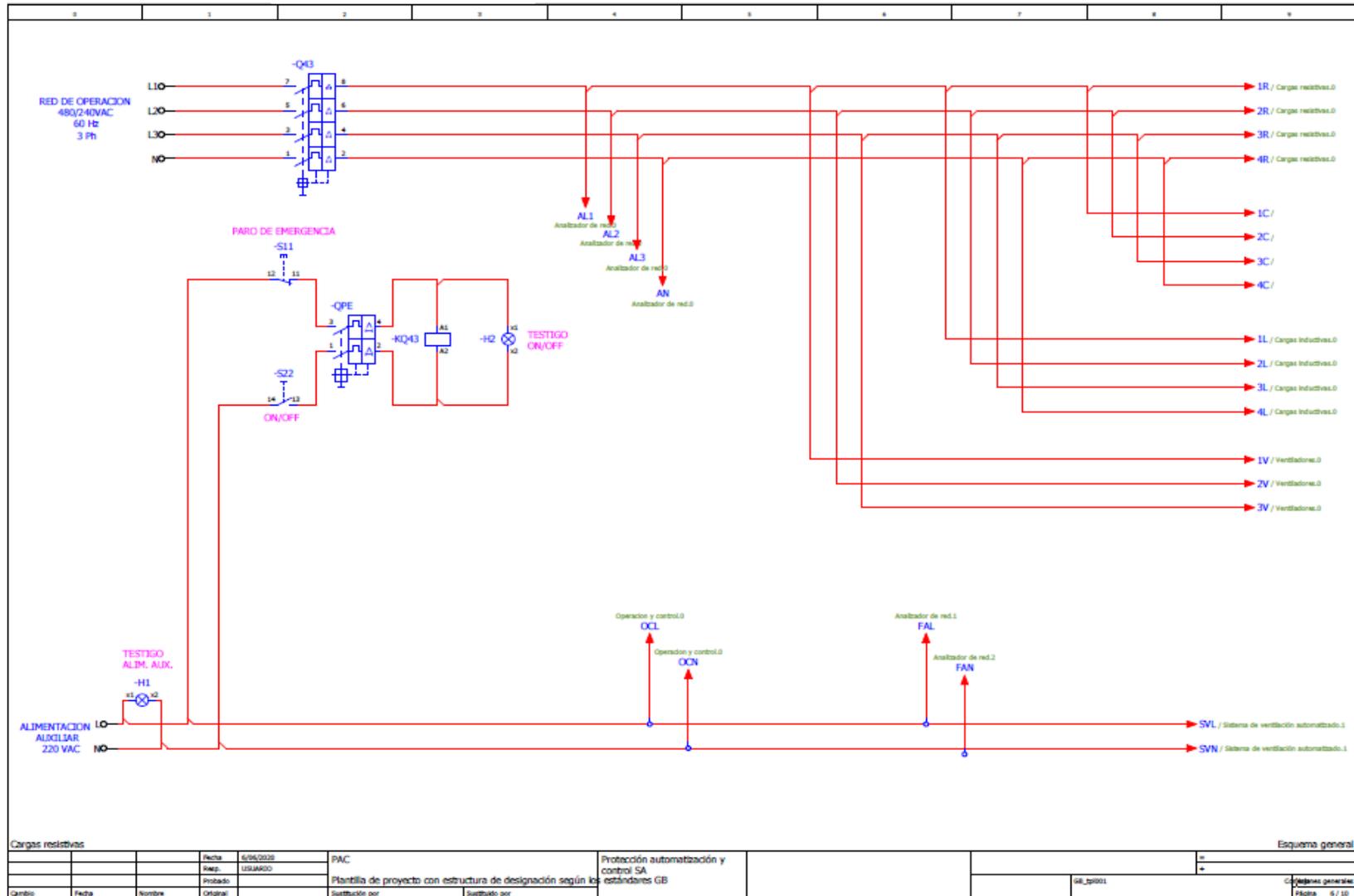


Figura 38 Cargas resistivas.

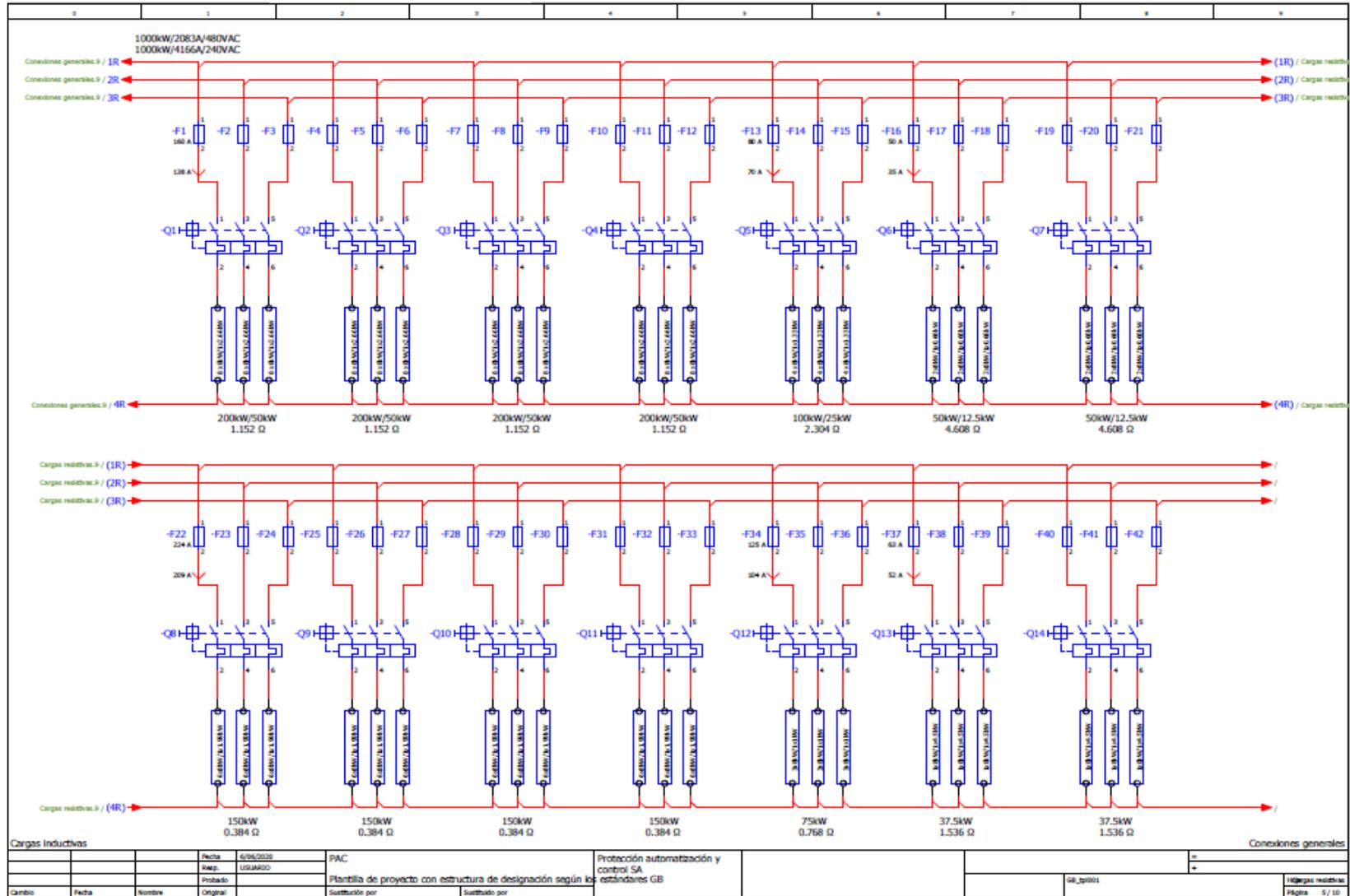


Figura 39 Cargas inductivas.

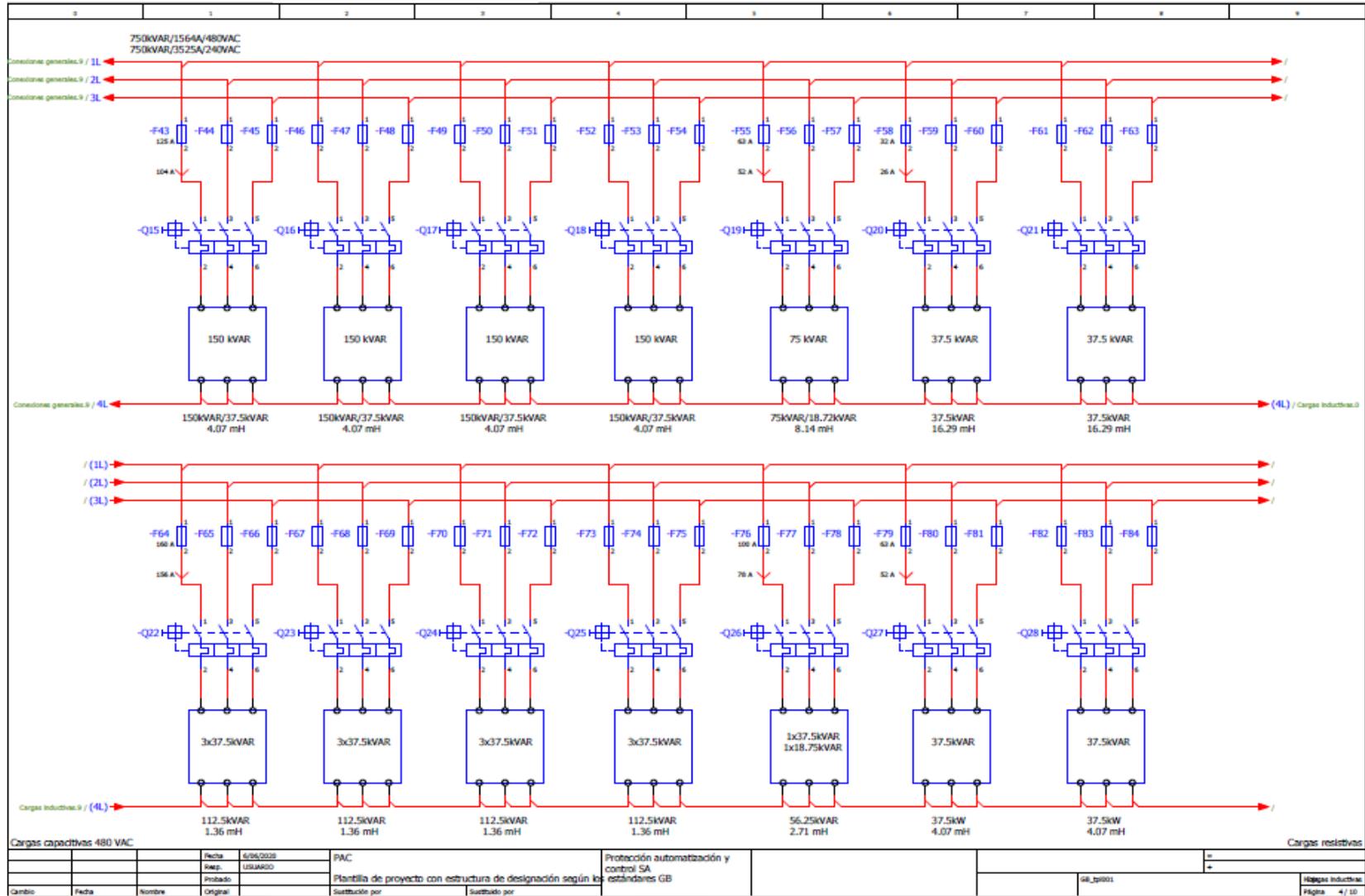


Figura 40 Cargas capacitivas 480 VAC.

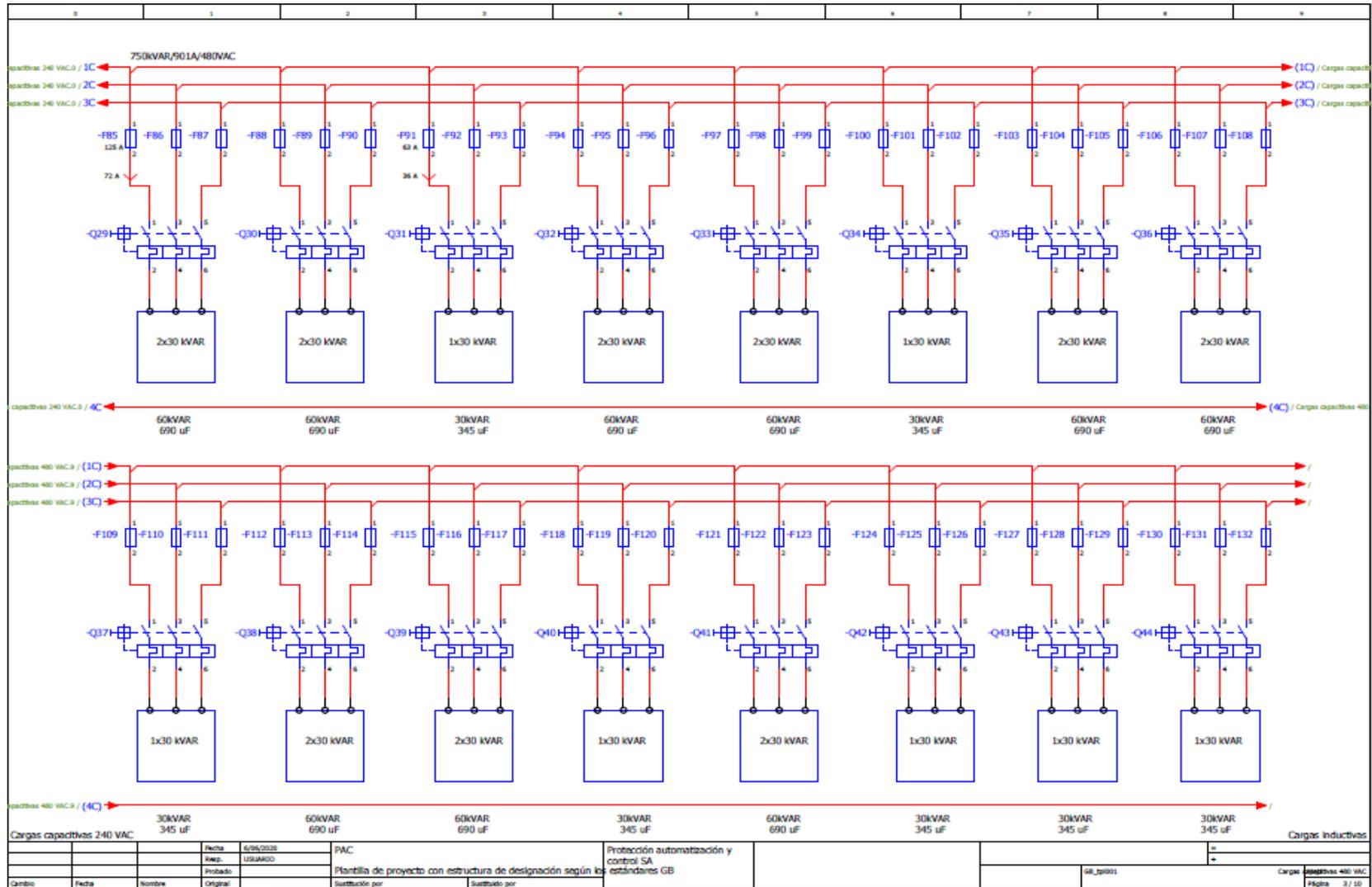


Figura 41 Cargas capacitivas 240 VAC.

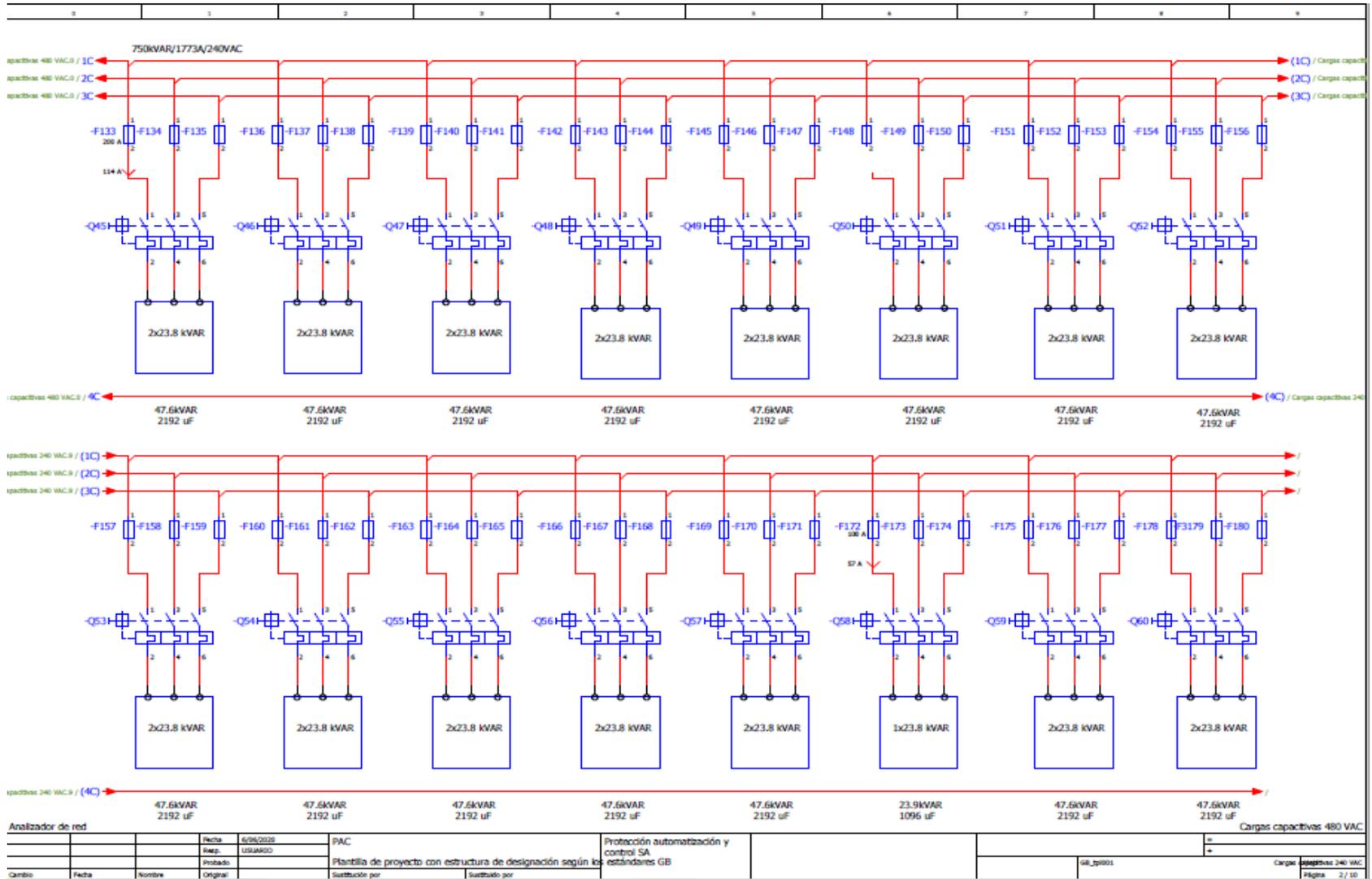


Figura 42 Operación y control.

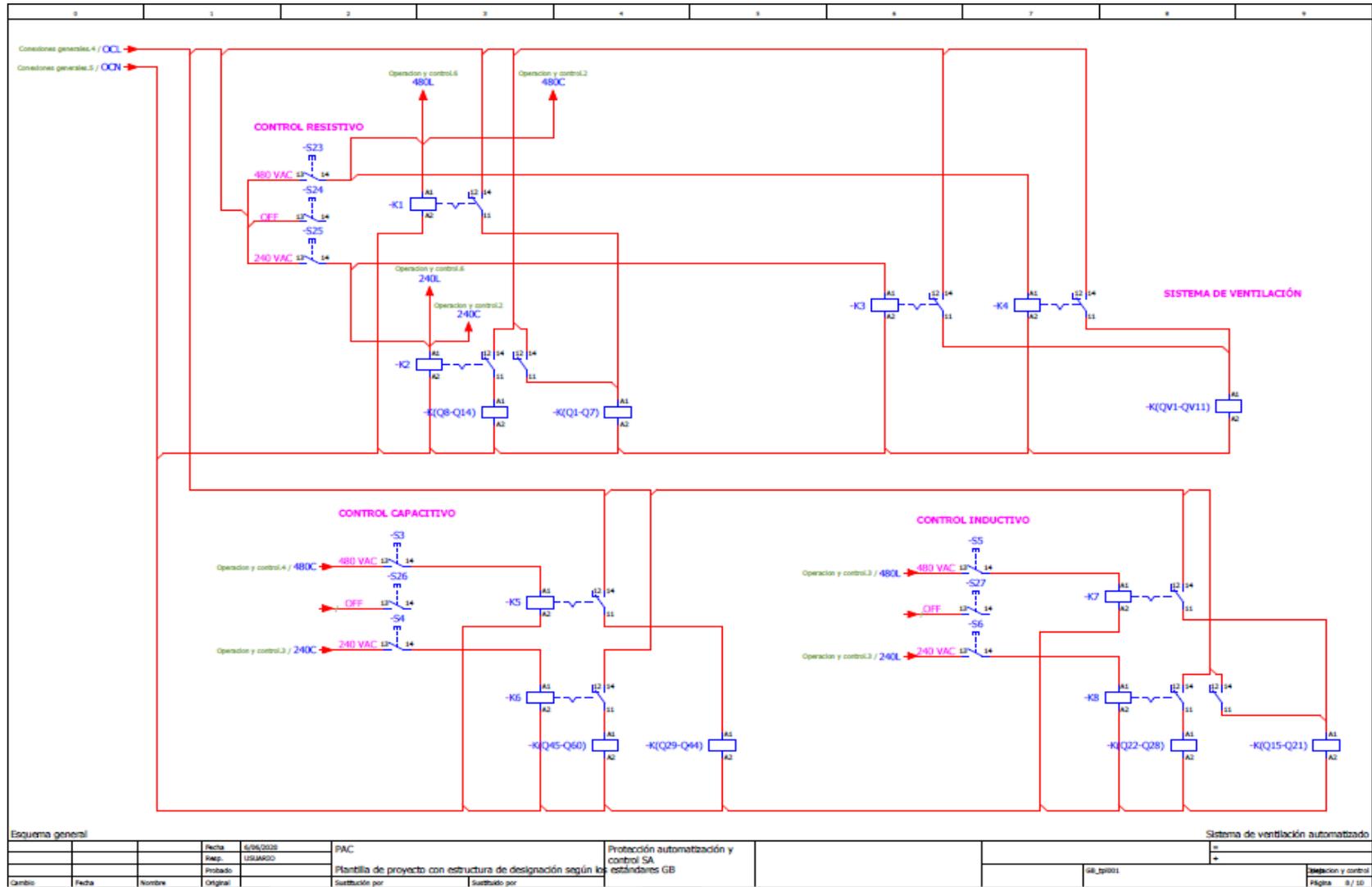


Figura 43 Ventiladores.

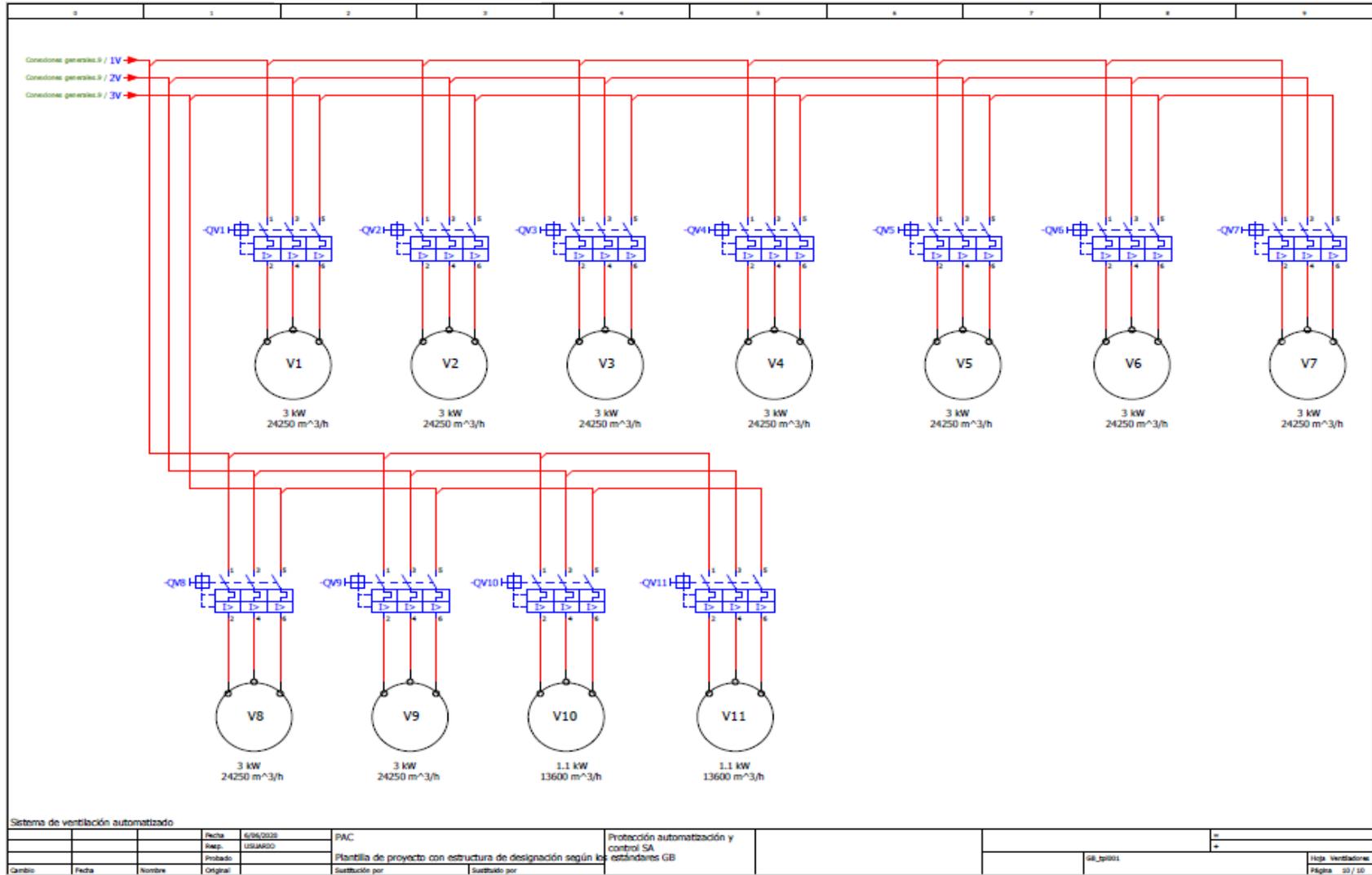


Figura 44 Sistema de ventilación.

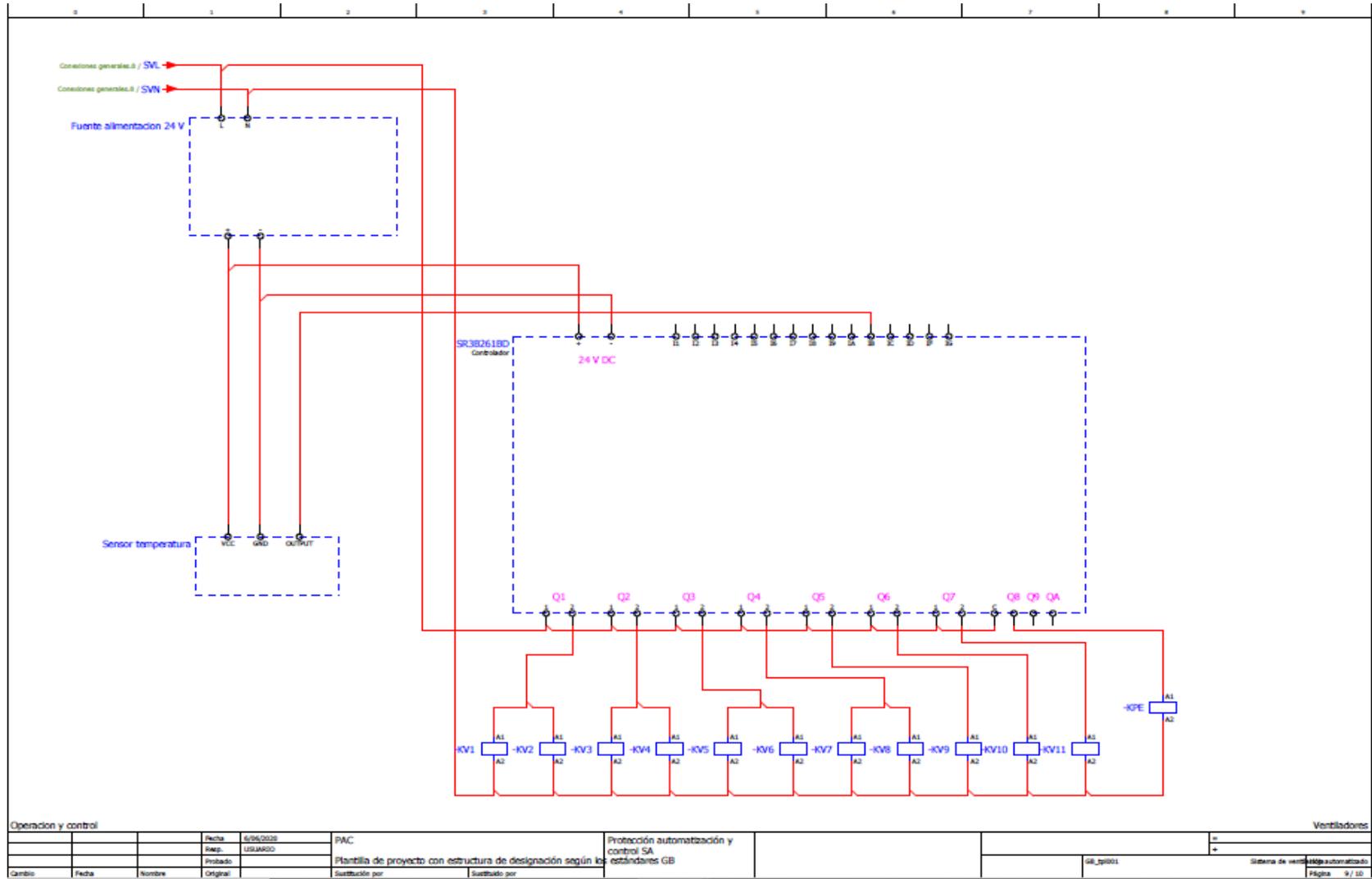
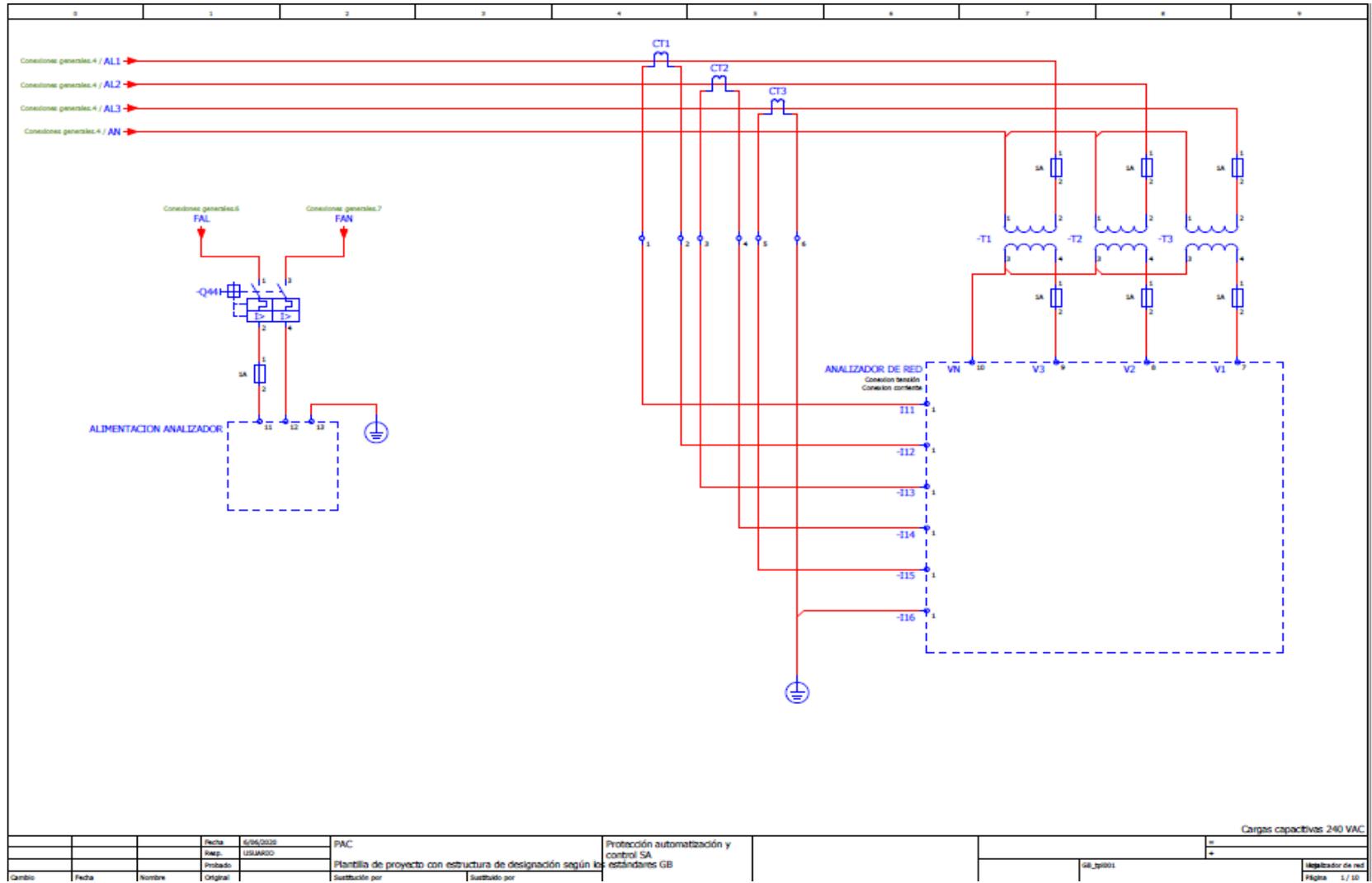


Figura 45 Analizador de red.



			Fecha: 6/06/2020	PAC	Protección automatización y control SA			
			Revisado: USMARGO		estándares GB			
			Proyecto: Plantilla de proyecto con estructura de designación según los					
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por			

## 9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ALIBABA. Sensores de temperatura. {En línea}. 2020. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/lowest-price-0-10v-high-quality-industrial-temperature-sensor-60714054571.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikehoz.5.75db54578VbNkVAmperis](https://spanish.alibaba.com/product-detail/lowest-price-0-10v-high-quality-industrial-temperature-sensor-60714054571.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikehoz.5.75db54578VbNkVAmperis). (06 de 11 de 2017). Instrumentación eléctrica y equipos de ensayo. Recuperado el 2019, de <http://amperis-products.blogspot.com/2017/11/queees-un-banco-de-carga.html>

AVTRON LOADBANK. Bancos de Carga . {En línea} 2019, Disponible en: <http://tool-solutions.com.ar/banco-de-carga.pdf> Barco Ríos, H. &. (2001). Cálculo de la constante de proporcionalidad de la Ley de Coulomb. Revista del Departamento de Ciencias, 170-176.

CASARES, Fr. Sistemas trifásicos . {En línea}. 11 de 2011. { 2019}. Disponible en : [http://www.trifasica.net/pdf/TEMA\\_8.\\_SISTEMAS\\_TRIFASICOS.pdf](http://www.trifasica.net/pdf/TEMA_8._SISTEMAS_TRIFASICOS.pdf)

COOLINGZONE. Sistema de ventilación. {En línea}. 11 de 07 de 2013. Disponible en: <https://www.coolingzone.com/index.php> Deif. (s.f.). Recuperado el 2020, de <https://www.deif.es/subsegments/critical-power>

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS. Cátedra de Teoría de Circuitos I :Circuito trifásico Edición 2015{En línea}.Disponible en:<https://www.fceia.unr.edu.ar/tci/utiles/Apuntes/Cap%2010-TRIF.pdf>

HILKAR. Bancos De Carga Resistivos Serie-R. {En línea} 2017, Disponible en: <http://www.hilkar.com/es/resistivoserier.html>

LEAL, Timoteo. Análisis de Circuitos. {En línea}. 06 de 2012.{2020}. Instituto Tecnológico de Querétaro. Disponible en:

[http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectrica/archivos\\_contenido/guias%20de%20practica/Practicas\\_2012/ANALISIS%20DE%20CIRCUITOS.pdf](http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectrica/archivos_contenido/guias%20de%20practica/Practicas_2012/ANALISIS%20DE%20CIRCUITOS.pdf)

LOPEZ, Luciano. (2005). Ley de Faraday-Lenz. {En línea} 2019 {03 de 2020}. Disponible en: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/LopezL.pdf>

MOLINA MARTÍNEZ, José Miguel. Corriente Alterna Monofásica y Trifásica: Fundamentos de electrotecnia para ingenieros. Barcelona: Marcombo S.A. 2012.

PRADO & WILCHES. Trabajo de grado (Estudio, diseño y simulación de un banco de pruebas con cargas resistivas variables para ups implementando un sistema de control de potencia y temperatura para IEE S.A). San Buenaventura, 2006, p 214. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería. Mecatrónica.

ROLDÁN, Carlos. Triángulo de potencia. {En línea} Universidad politécnica de valéncia. { 2020}.Disponible en: <http://laboratoriosvirtuales.upv.es/eslabon/tripot/>

SCHNEIDER ELECTRIC. Correcta selección de Contactores. {En línea}.31de 05, 2020.Disponible en: <https://www.se.com/co/es/faqs/FA352332/>

SEARS, & ZEMANSKY. Física general. Aguilar: Pearson, 1957.

SUÁREZ, Cesar. Principios de electrotecnia: Circuitos monofásicos y trifásicos. Oviedo: Servicio de publicaciones Universidad Oviedo, 2001. P. 169-171

VELAZCO, Carlos. Cargas inductivas, capacitivas y resistivas. {En línea}. 09 de 07 de 2016 {2020}. Disponible en: <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>

WEG. Contactores para maniobra de condensadores. {En línea}.17 de 07 de 2018. Disponible en: [https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Controls/Contactores/Contactores-para-maniobra-de-condensadores/c/GLOBAL\\_WDC\\_CTL\\_CAPS\\_CONTACTORS](https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Controls/Contactores/Contactores-para-maniobra-de-condensadores/c/GLOBAL_WDC_CTL_CAPS_CONTACTORS)

ZAMORA, Rodolfo. Trabajo de grado (Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el factor potencia). Guayaquil, 2013, p 162 . Universidad catolica de Guayaquil.Facultad de Ingeniería.

ZEMANSKY, Mark. Fisica Universitaria. México: Pearson, 2004.