



## **Análisis de Redes Eléctricas**

### **ELEG 1028 – 2021 PAO 2**

#### **Proyecto**

##### **Profesores del laboratorio:**

María José Ramírez Prado - [majorami@espol.edu.ec](mailto:majorami@espol.edu.ec)

Julio Andrés Zevallos Sipión - [juanzeva@espol.edu.ec](mailto:juanzeva@espol.edu.ec)

José Enrique Cueva Tumbaco – [josecuev@espol.edu.ec](mailto:josecuev@espol.edu.ec)

Raúl Gabriel Intriago Velásquez-[raugintr@espol.edu.ec](mailto:raugintr@espol.edu.ec)

#### **A. ALCANCE**

El presente documento contiene una guía para el análisis por parte de los estudiantes de un caso de estudio. El mismo incluye las siguientes actividades:

- Análisis del sistema eléctrico de una industria de tamaño medio haciendo uso de su diagrama unifilar. Cálculo de consumo de potencia activa y reactiva, así como de su factor de potencia.
- Dimensionamiento de un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia total de la industria visto en las barras de conexión con la línea de distribución, a un valor de 0.9634 en atraso.
- Cálculo de los disyuntores principal en el sistema de distribución.
- Verificación del consumo de las diferentes potencias al momento de conectar el banco de capacitores.
- Análisis de la forma de onda de voltaje durante la conexión del banco de capacitores a las barras de la industria, características y posibles efectos sobre el sistema eléctrico.
- Discutir posibles métodos para mitigar las sobretensiones en las líneas de carga debidas a la conexión y desconexión de capacitores.
- Lograr un acercamiento a posibles soluciones de problemas en la industria y tipos de conexiones de transformadores monofásicos.

#### **B. INTRODUCCIÓN**

La empresa GENERAL MOTORS DEL ECUADOR S.A., dedicada a la fabricación de vehículos comerciales como camionetas, camiones, tractores para semirremolques de circulación por carretera, etc. posee en su sistema eléctrico cargas inductivas y cargas resistivas, las mismas que permiten el ensamblaje de vehículos y también el funcionamiento de motores de bombeo de agua hacia la planta. La empresa ha analizado la calidad de la energía y se ha determinado que presenta un bajo factor de potencia debido a la presencia de cargas inductivas como: transformadores, motores, lámparas fluorescentes, compresores, soldadoras de arco, bobinadoras, bombas centrífugas, etc. Al presentarse un factor de potencia por debajo de los niveles aceptados se tienen consecuencias como: el incremento de las pérdidas en los conductores, sobrecarga de los transformadores y líneas de distribución, aumento de la caída de tensión, incremento de la potencia aparente, incremento de la facturación eléctrica, sanciones por parte de la empresa eléctrica.

Por este motivo, la empresa se vio en la necesidad de darle atención a este problema,

mediante el análisis técnico de la instalación de un banco de condensadores que permitirá obtener beneficios tales como: disminución de las pérdidas en los conductores, reducción de las caídas de tensión, aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores y líneas de distribución, incremento de la vida útil de las instalaciones y equipos eléctricos. Al corregir el factor de potencia se obtendrán también beneficios económicos para la empresa logrando así: la reducción de los costos por facturación eléctrica, eliminación del cargo por bajo factor de potencia, y bonificación en la facturación cuando se tenga un factor de potencia mayor a **0.9634**.

### C. DESCRIPCIÓN DEL CASO

En la siguiente figura se muestra el sistema eléctrico de la industria a analizar:

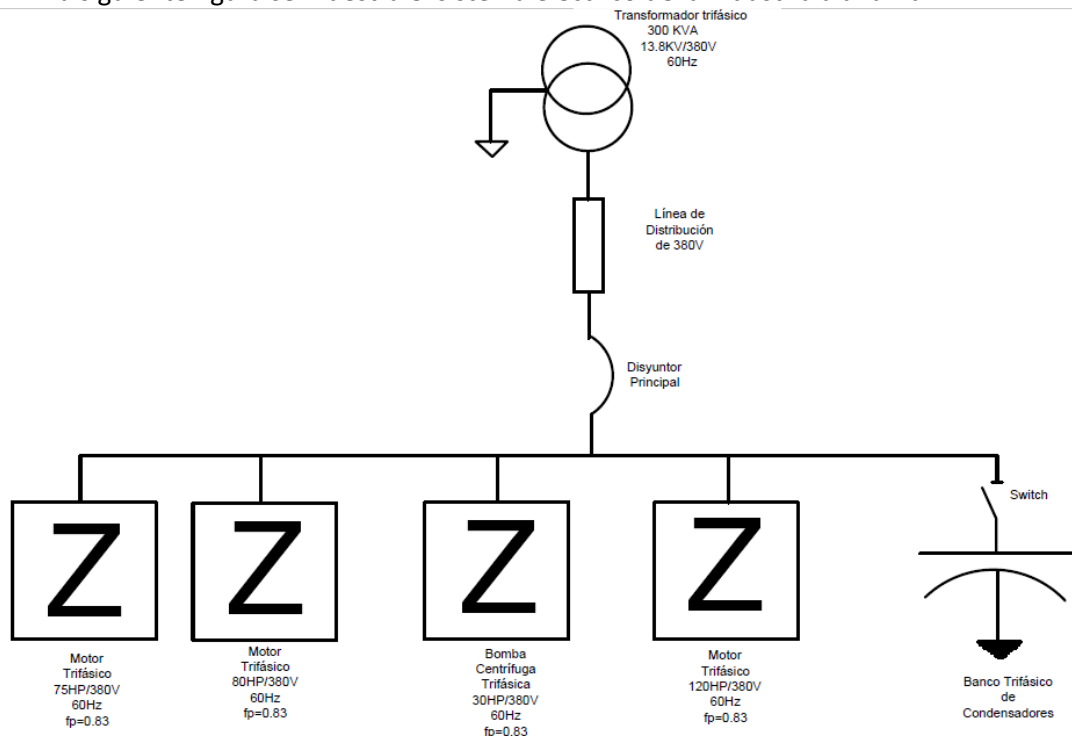


Fig. [1]. Diagrama unifilar del sistema de distribución eléctrico

El banco de capacitores será conectado mediante un interruptor (Switch) a la barra principal del sistema. El sistema eléctrico consta en total de los siguientes elementos:

- El banco de condensadores a dimensionar tendrá un voltaje nominal de 380[V] y será conectado en estrella aterrizada.
- El disyuntor principal alimenta una carga total de 305HP/380[V], distribuidos por 4 motores. El factor de potencia de la carga es de **0.83**.
- El sistema está compuesto por 4 motores, cada uno controlado por variadores de frecuencia, los cuales cumplen están distribuidos para los siguientes sistemas: bombeo de emergencia, sistemas de elevación, cintas transportadoras de piezas, y ventilador.
- La línea de distribución que conecta la barra de 380 [V] al secundario del transformador principal puede ser modelada como una rama RL con valores  $R = 0.000135 [\Omega]$  y  $L = 0.0116 [\text{mH}]$ .
- Un transformador trifásico con relación 13.8 [kV] / 380 [V], conexión YYg0, es decir devanado primario en estrella, devanado secundario en estrella



aterrizada y desfase de 0 grados entre fasores de primario y secundario. El transformador es de 5 columnas acorazado y se modelará usando el circuito equivalente del transformador real como se muestra en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Circuito Equivalente	
Potencia nominal	300 [KVA]
Frecuencia	60 [Hz]
Voltaje nominal primario	13800 [V]
Voltaje nominal secundario	380 [V]
Resistencia primaria (Rp)	40.1275 [ $\Omega$ ]
Inductancia primaria (Lp)	0 [H]
Resistencia secundaria (Rs)	0.01257 [ $\Omega$ ]
Inductancia secundaria (Ls)	0 [H]
Resistencia equivalente del núcleo (Rc)	135.3 [k $\Omega$ ]
Inductancia de magnetización (Lm)	406.64 [H]

Tabla [1]. Parámetros del transformador de 300KVA 13.8KV/380V

- Sistema de subtransmisión que será modelado como una fuente ideal de voltaje alterno de 13800 [V] a 60 [Hz].

## D. ACTIVIDADES

### 1. Dimensión del disyuntor principal

Los disyuntores tienen un amperaje nominal específico, que cuando se lo excede el disyuntor cierra el flujo de corriente en el circuito para evitar daños al cableado y a las cargas que se encuentran conectadas. Determine el amperaje nominal del disyuntor principal del sistema eléctrico.

### 2. Dimensiones del banco de capacitor

Los bancos de capacitores se especifican en términos de su voltaje nominal y potencia reactiva entregada a dicho voltaje nominal. Determine estos valores para obtener un factor de potencia igual a **0.9634** en la barra de 380 [V].

### 3. Reducción del circuito del sistema eléctrico.

Considere que, en el transformador, la resistencia equivalente del núcleo (Rc) y la inductancia de magnetización (Lm) son tan grandes que se las puede aproximar como infinitas, es decir circuitos abiertos.

Refleje la resistencia del devanado de primario (Rp) al secundario y trabaje con un circuito simplificado en el nivel de tensión 380 [V]. Grafique el equivalente monofásico de dicho problema.

#### 4. Respuesta completa del circuito reducido.

Determine analíticamente el voltaje del banco de capacitores por fase (voltaje de la barra de 380 [V]) en función del tiempo. Se aconseja utilizar la transformada de Laplace para realizar este cálculo.

$$\text{Fase a: } v_{AN}(t) = 380 * (\sqrt{2}/\sqrt{3}) * \sin(120\pi t - 180^\circ) [V]$$

$$\text{Fase b: } v_{BN}(t) = 380 * (\sqrt{2}/\sqrt{3}) * \sin(120\pi t - 300^\circ) [V]$$

$$\text{Fase c: } v_{CN}(t) = 380 * (\sqrt{2}/\sqrt{3}) * \sin(120\pi t - 60^\circ) [V]$$

#### 5. Simulación del circuito reducido y validación de resultados.

Utilizando Matlab/Simulink realice una simulación del circuito reducido como se muestra a continuación:

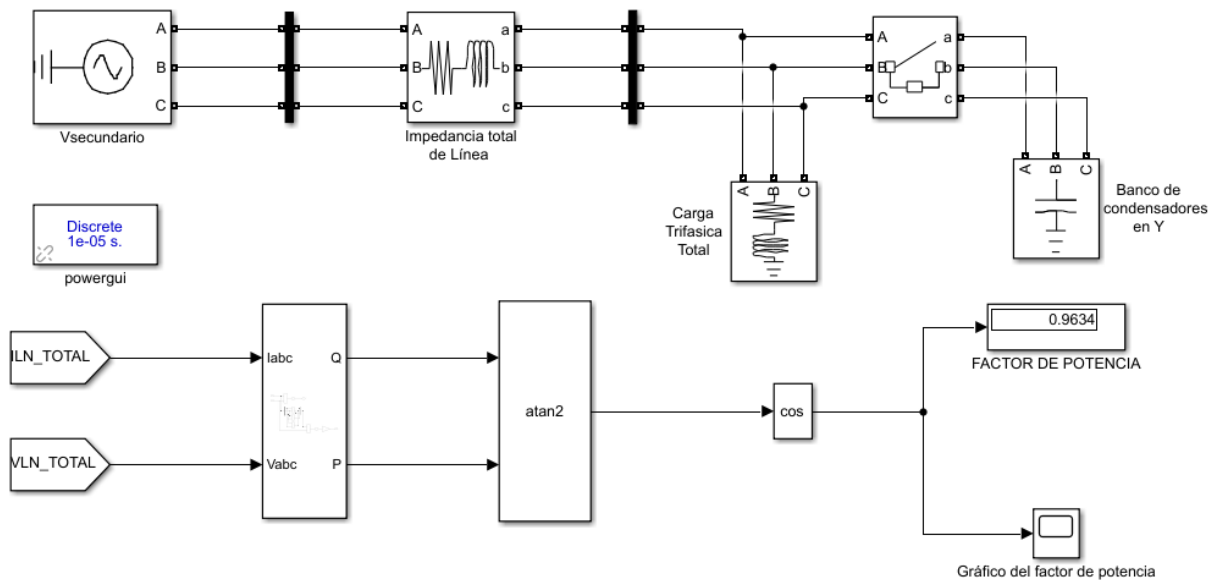


Fig. [2]. Diagrama del circuito del sistema eléctrico reducido

Para referencia, la siguiente figura muestra las formas de onda del voltaje de línea de neutro de la fuente y del banco de capacitores:

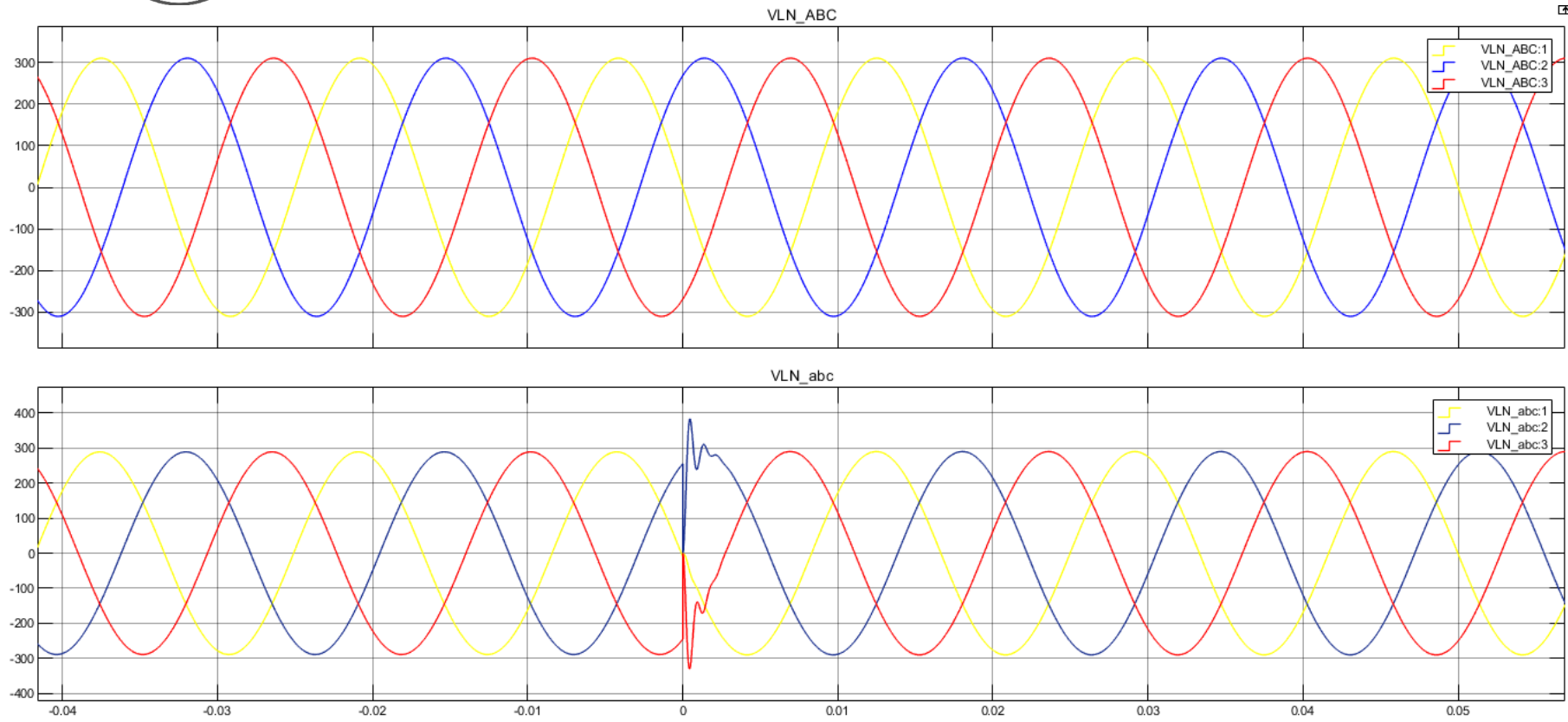


Fig. [3]. Voltajes de línea a neutro de la fuente principal y del banco de capacitores

Mediante el uso de Matlab o Simulink verifique que para cada fase la forma de onda de voltaje obtenida analíticamente es igual a la que se consiguió mediante la simulación del circuito. A continuación se muestra un ejemplo de dicha validación (esto solo es un ejemplo, debe hallar dichas gráficas y exportarlas al WORKSPACE para comparar con los resultados teóricos):

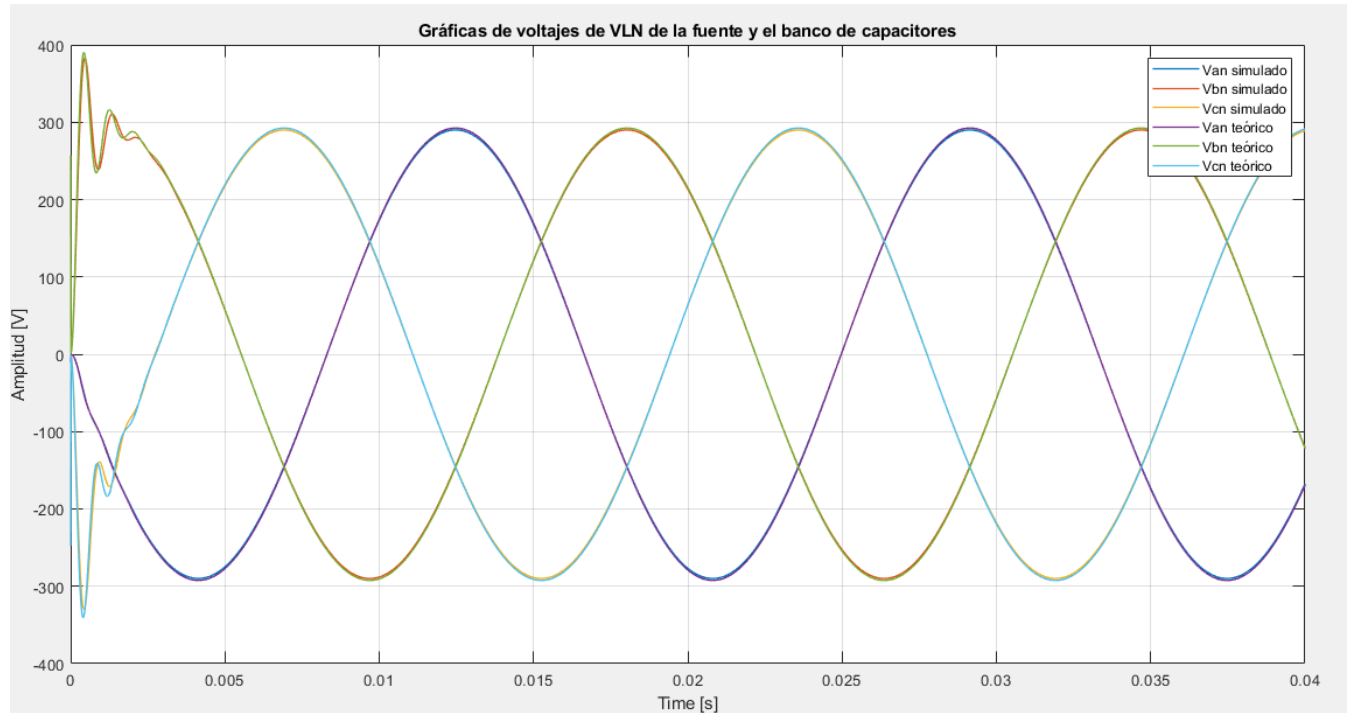


Fig. [4]. Voltajes de línea a neutro de la carga

## 6. Simulación del circuito completo y validación de resultados.

Utilizando Matlab/Simulink realice una simulación del circuito completo, incluyendo el transformador como se muestra a continuación:

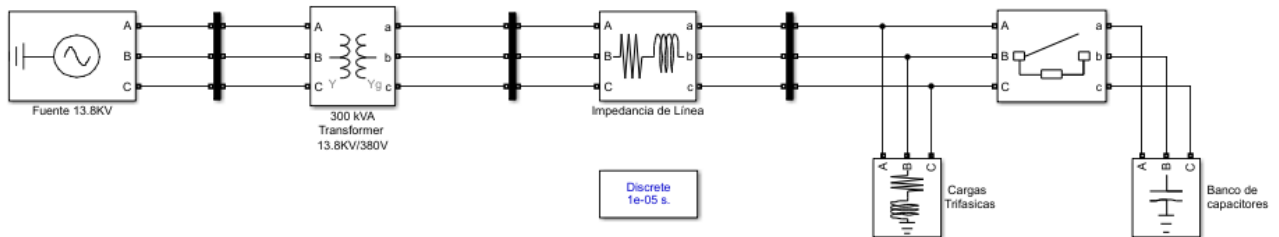


Fig. [6]. Circuito completo del sistema eléctrico.

A continuación, se detallan los parámetros del bloque del transformador para la simulación:

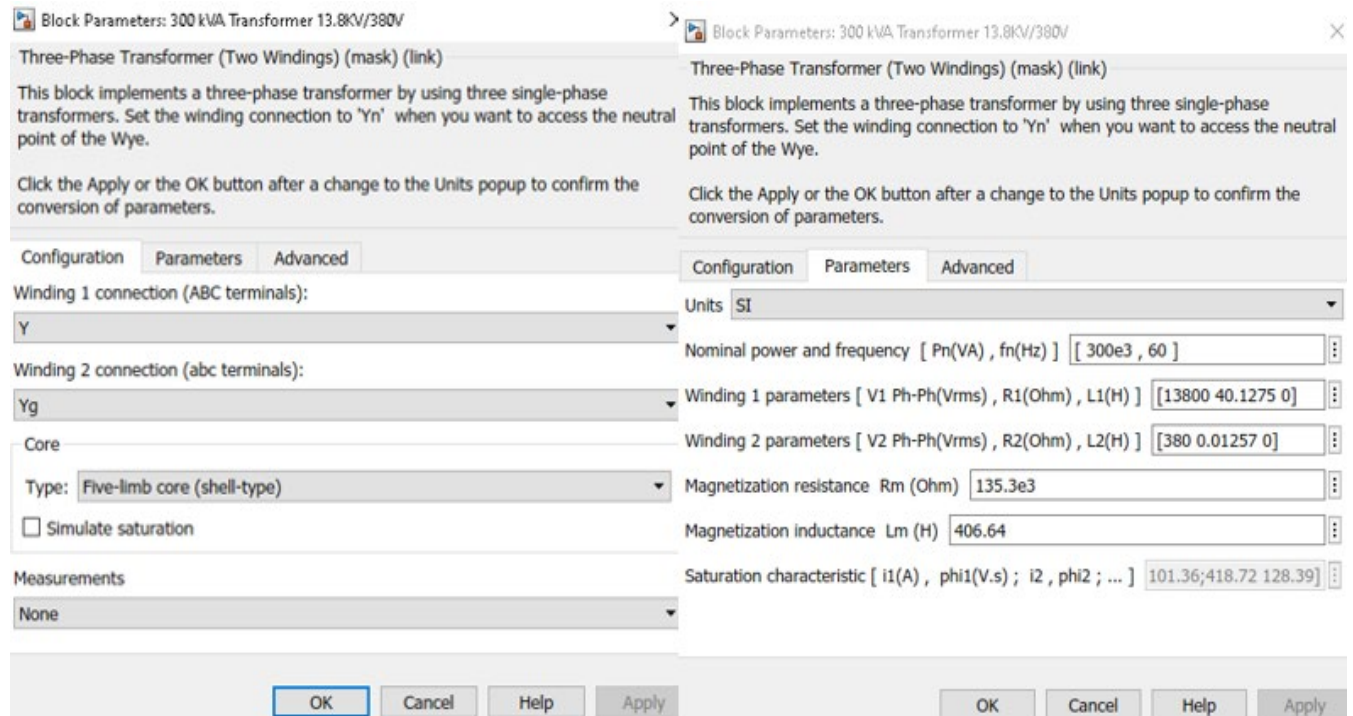


Fig. [7]. Configuración de los parámetros del transformador.

Nuevamente para referencia, la siguiente figura muestra las formas de onda del voltaje de línea de neutro de la fuente y del banco de capacitores:

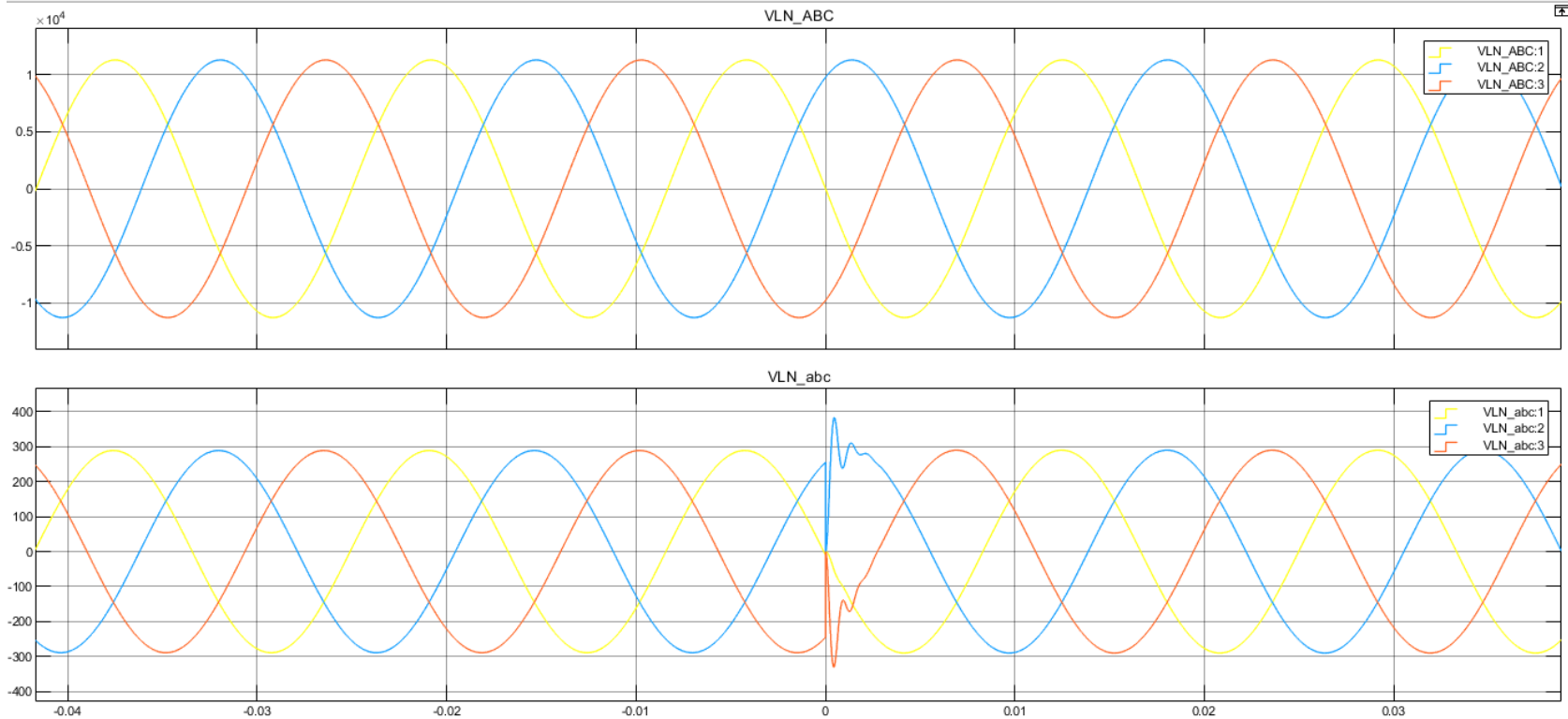


Fig. [8]. Forma de ondas de voltaje de línea a neutro de la fuente y del banco de capacitores





Mediante el uso de Matlab o Simulink compare los resultados obtenidos en esta simulación que incluye el transformador con detalle con los resultados obtenidos en la simulación del circuito reducido y los resultados obtenidos analíticamente.

### 7. Análisis de resultados.

Realice los siguientes análisis antes y después de conectar el banco de condensadores:

- a) En base a los resultados de los puntos 4 y 5, realice un análisis de la efectividad del método utilizado para obtener las expresiones analíticas del voltaje y las ventajas del uso de software de simulación para simplificar dicha tarea.
- b) Analice de qué elementos del sistema dependerá el salto de corriente o intensidad en las líneas de la carga al momento de la conmutación con los capacitores.
- c) Discuta los efectos que tendría esta sobreintensidad sobre las cargas conectadas en la industria.

### 8. Conexión de bancos de transformadores monofásicos.

Para esta sección asuma el siguiente escenario:

El transformador trifásico ha sufrido un daño irreparable y solicitar uno nuevo tiene un tiempo de demora de mínimo 1 mes, la empresa no puede parar su producción por todo ese tiempo, se le ha contratado para proponer una solución temporal y se le comunica que se disponen de 3 transformadores monofásicos disponibles de 13.8KV/380V con 300kVA cada uno. Se pide:

- a) Investigue si es posible realizar una conexión con dichos transformadores para solucionar el problema y de serlo realice la conexión de dichos transformadores monofásicos con la carga y banco de capacitores. Describa las consideraciones que tendría al realizar la conexión.
- b) Muestre el diagrama de conexiones que se lleva a cabo en la práctica, es decir de las conexiones físicas de los transformadores monofásicos.
- c) Muestre la gráfica de las tensiones obtenidas de línea neutro de la fuente y del banco de capacitores.
- d) Verifique que el factor de potencia sea el deseado de acuerdo con lo estipulado en el punto 2. Analice de ser posible si se puede conectar cargas monofásicas de 220V con la conexión realizada anteriormente. Explique lo más detalladamente posible, si existen cambios en las tensiones al conectar los motores con la conexión de transformadores monofásicos y por qué cree que sucede eso.

Se adjunta una gráfica **que puede usar como referencia** (se considera casos idealistas, usted puede analizar los efectos de cambiar las inductancias en el primario y secundario) de los voltajes de la fuente y del banco de capacitores con la siguiente configuración de los transformadores monofásicos:

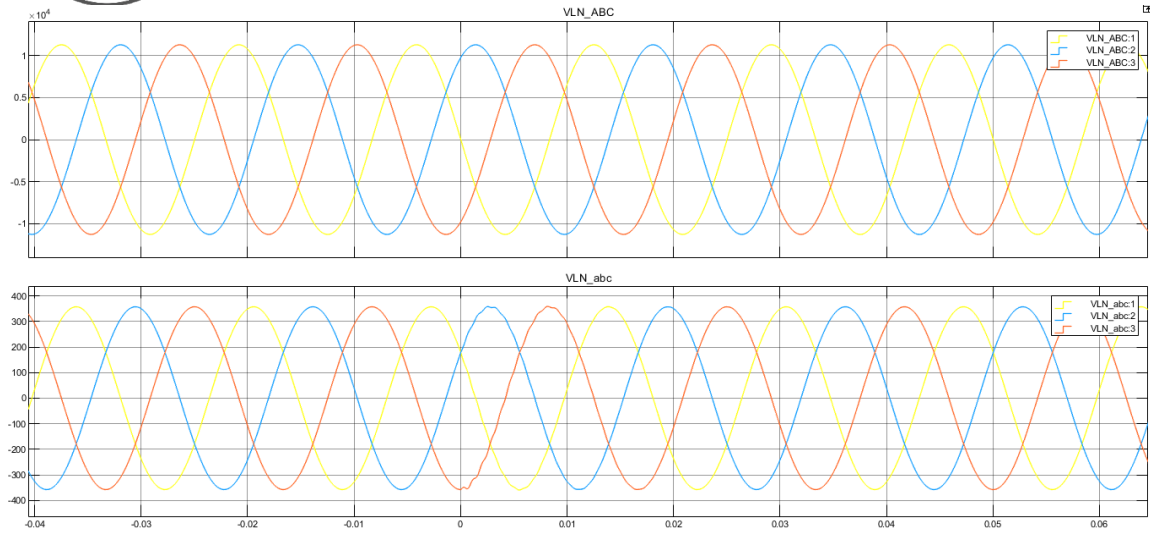


Fig. [9]. Forma de ondas de voltaje de línea a neutro de la fuente y del banco de capacitores.

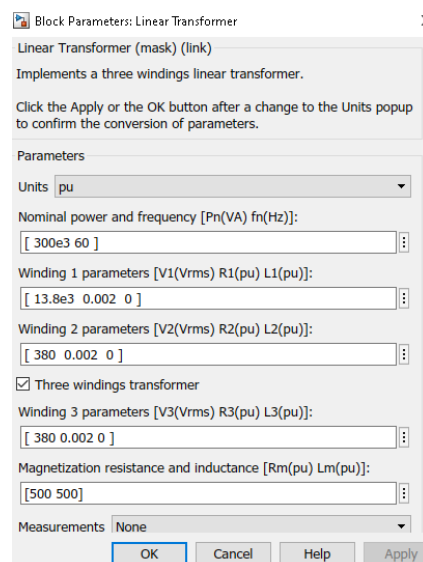


Fig. [10]. Configuración de referencia de transformadores monofásicos.

## 9. Soluciones para mitigar los efectos del sobreintensidad.

Investigue 2 posibles soluciones que permitan mitigar la sobreintensidad por la conmutación de capacitores. No es necesario realizar nuevas simulaciones, pero debe darse una breve explicación de cómo operarían dichos métodos.

## 10. Conclusiones y recomendaciones.

Escriba al menos cuatro conclusiones y dos recomendaciones acerca del presente trabajo.

## 11. Lista de actividades

Se deberá incluir en el reporte una lista de las actividades realizadas por cada uno de los integrantes del grupo.



## **E. ENTREGABLES**

Se deberán presentar lo siguiente vía Aula Virtual:

- Reporte en el que se detallan todas las actividades realizadas de acuerdo con el literal D y se muestran los resultados obtenidos mediante capturas de pantalla de las simulaciones y sus resultados. Para la parte teórica es permitido incluir fotos de los cálculos realizados a mano siempre y cuando estén bien presentados y con letra entendible.
- Archivo comprimido formato zip con las simulaciones realizadas como validación.
- Enlace a un video de máximo 10 minutos en el que se presenta una breve descripción del caso y los métodos utilizados para determinar los voltajes solicitados, tanto analíticamente como usando software y explicar también la conexión de transformadores monofásicos realizada. Adicionalmente, se deben explicar los efectos de la forma de onda obtenida sobre el sistema eléctrico y sus posibles soluciones.