

**Diego Andrés Cisternas Herrera**

**Armónicas en Sistemas de Baja Tensión  
Trabajo N°2**

**Profesor Sr. Domingo Ruiz Caballero**

**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

Resumen

En el presente informe se realiza un detallado estudio armónico a dos sistemas trifásicos desbalanceados dedicados para los cuales se implementan los filtros pasivos necesarios para cumplir con la norma eléctrica chilena y además sacar provecho del comportamiento de los filtros en la frecuencia fundamental y compensar reactivos en el PCC. Las simulaciones son realizadas en el software PSIM en el cual se puede obtener en detalle las formas de onda y las variables eléctricas necesarias para el estudio.

Palabras claves: estudio armónico, PSIM, norma, contaminación armónica, PCC, filtros pasivos.

Índice general

[Introducción 1](#_Toc519849878)

[1 Sistema N°1 2](#_Toc519849879)

[1.1 Cálculo de los Filtros 3](#_Toc519849880)

[1.1.1 Simulación con Filtros 6](#_Toc519849881)

[1.2 Cálculo con los resultados de la simulación 9](#_Toc519849882)

[1.2.1 Factor de desplazamiento 9](#_Toc519849883)

[1.2.2 Potencia Aparente Fundamental 9](#_Toc519849884)

[1.2.3 Potencia Activa Fundamental 9](#_Toc519849895)

[1.2.4 Potencia Reactiva Fundamental 10](#_Toc519849902)

[1.2.5 Potencia Aparenta Total 10](#_Toc519849909)

[1.2.6 Potencia Armónica 11](#_Toc519849918)

[1.2.7 Factor de Potencia 11](#_Toc519849926)

[1.2.8 Distorsión armónica total THD 12](#_Toc519849928)

[1.2.9 Profundidad de los Notches 12](#_Toc519849952)

[1.2.10 Área de los Notches 14](#_Toc519849955)

[1.3 Evaluación según norma Chilena 14](#_Toc519849957)

[2 Sistema N°2 22](#_Toc519850489)

[2.1 Cálculo de Filtros 22](#_Toc519850490)

[2.1.1 Simulación con Filtros 24](#_Toc519850491)

[2.2 Cálculo con los resultados de la simulación 27](#_Toc519850492)

[2.2.1 Factor de desplazamiento 27](#_Toc519850493)

[2.2.2 Potencia Aparente Fundamental 27](#_Toc519850494)

[2.2.3 Potencia Activa Fundamental 27](#_Toc519850505)

[2.2.4 Potencia Reactiva Fundamental 28](#_Toc519850512)

[2.2.5 Potencia Aparente Total 28](#_Toc519850519)

[2.2.6 Potencia Armónica 29](#_Toc519850528)

[2.2.7 Factor de Potencia 29](#_Toc519850536)

[2.2.8 Distorsión Armónica Total THD 30](#_Toc519850538)

[2.3 Evaluación según norma Chilena 30](#_Toc519850561)

[Discusión y conclusiones 37](#_Toc519851093)

# Introducción

Los sistemas eléctricos hoy en día presentan gran número de cargas que tienen implícitas en sí elementos de electrónica de potencia, estas cargas tienen la particularidad de ser no lineales, lo cual trae como resultado deformación en las formas de onda de tensión y corriente. Por lo que se vuelve pertinente realizar estudios del comportamiento de estos fenómenos que afectan el funcionamiento del sistema y tomar las medidas pertinentes si se encuentra en situación de incumplimiento de la norma.

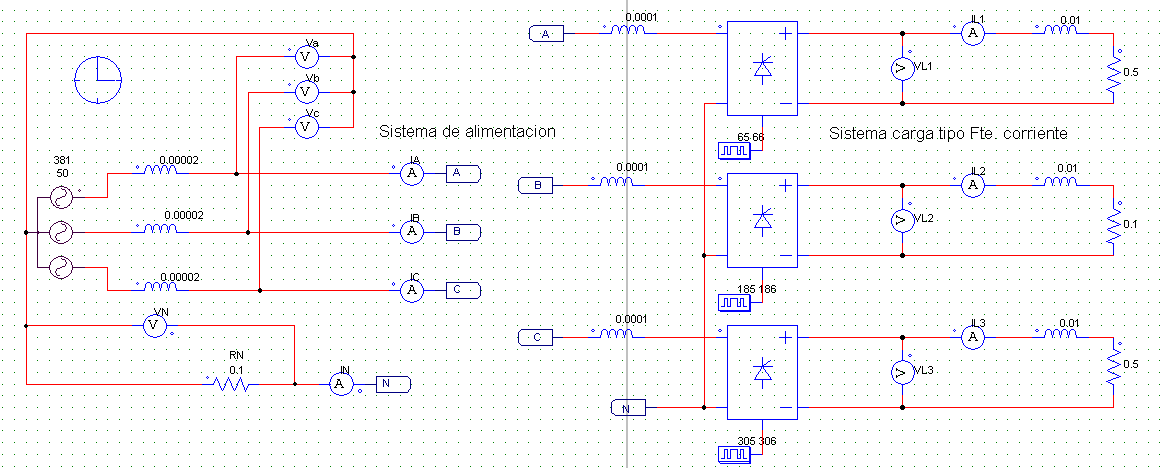
A nivel industrial es muy común encontrarse con dos tipos de comportamientos en las cargas. El primero de estos es que se comporten como fuentes de corriente continua (asociado a rectificación e inductancias de elevado valor) y el segundo corresponde a fuente de tensión continua (asociado a rectificación y condensadores en paralelo que imponen tensión).

En el presente informe se realizará el estudio de dos sistemas desbalanceados, cada uno presenta una carga de naturaleza distinta y se implementarán los filtros pasivos necesarios para cumplir con la norma Chilena.

# Sistema N°1

El primer sistema con frecuencia fundamental 50[Hz], presenta una carga con comportamiento tipo fuente de corriente resultante de la rectificación de tiristores disparados en 65°, para la cual se filtrarán los armónicos haciendo uso de los filtros pasivos serie resonantes de segundo orden conectados entra fase y neutro. El Sistema 1 se muestra a continuación.

Figura 1-1: Simulación en PSIM Sistema 1



De la tarea anterior se obtuvo que en múltiples de las frecuencias se salía de la recomendación de contaminación armónica. Principalmente se buscará atenuar las corrientes armónicas, puesto que la distorsión de voltaje en el PCC es producto de la circulación de corriente armónica por la reactancia de la fuente, lo cual produce tensión distorsionada que afecta la tensión del PCC.

El cálculo de los filtros se realizará mediante el uso de las ecuaciones de proyecto vistas en los apuntes, las cuales son las siguientes:

Las cuales se evaluarán para el orden armónico ‘n’, el dato de proyecto ‘Q’ corresponde a la calidad del filtro (elegido a conveniencia para hacer cumplir la norma en el enésimo armónico), ‘Kn’ es el valor porcentual menor al permitido por la norma para el enésimo armónico (también elegido convenientemente para el filtrado). Las ecuaciones además consideran el valor de (corriente de la fundamental) la cual va cambiando cada vez que se agrega un nuevo filtro y (corriente del enésimo armónico).

La estrategia a considerar para el filtrado será calcular los filtros de la enésima armónica simultáneamente para las 3 fases, implementar el filtro, ver si ha filtrado correctamente y luego seguir con la armónica siguiente que necesite filtrado. Es además importante mencionar que los filtros afectan su ‘vecindad’ de frecuencia, por lo cual en el desarrollo del proceso iterativo es que pueden salir de norma frecuencias que antes estaban dentro de norma. De no resultar exitoso el filtrado del filtro, se aumenta la calidad del filtro ‘Q’ o bien se reduce el valor de ‘Kn’.

Luego de haber implementado todos los filtros, es también necesario adicionar la capacitancia faltante para la compensación de reactivos. La cual se calculará según las ecuaciones:

Se fijará como deseado un valor de 0.98 y la potencia va a depender de la fase del sistema sobre la cual se está trabajando. Así podemos obtener el valor de para cada una de las fases. Luego el será obtenido según:

Teniendo el valor de para cada fase, se hace paso al cálculo de la capacitancia necesaria:

Teniendo el valor de la capacitancia faltante, será adicionada a la capacitancia de los filtros de alta frecuencia y se recalculará la inductancia para dichos filtros (para que resuenen en la frecuencia indicada). Se comprueba nuevamente si con el cambio hay armónicas fuera de la norma y de ser necesario se filtran. Obteniendo de esta forma el sistema dentro de la norma.

## Cálculo de los Filtros

Usando la estrategia descrita anteriormente se presentan los cálculos de los filtros usados para el sistema 1 los cuales fueron obtenidos usando planilla Excel.










Luego de haber implementado todos los filtros, se calculó la capacitancia faltante para compensar:

Tabla 1-1: Cálculo capacitancia necesaria para compensar

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| P [W] | 12973 | 41594 | 17399 |
| Q Deseado [Var] | 3266.9 | 7108.4 | 3405.4 |
| Q Compensar [Var] | 11779 | 59107 | 10842 |
| C Total [F] | 0.00077777 | 0.003956831 | 0.000715868 |

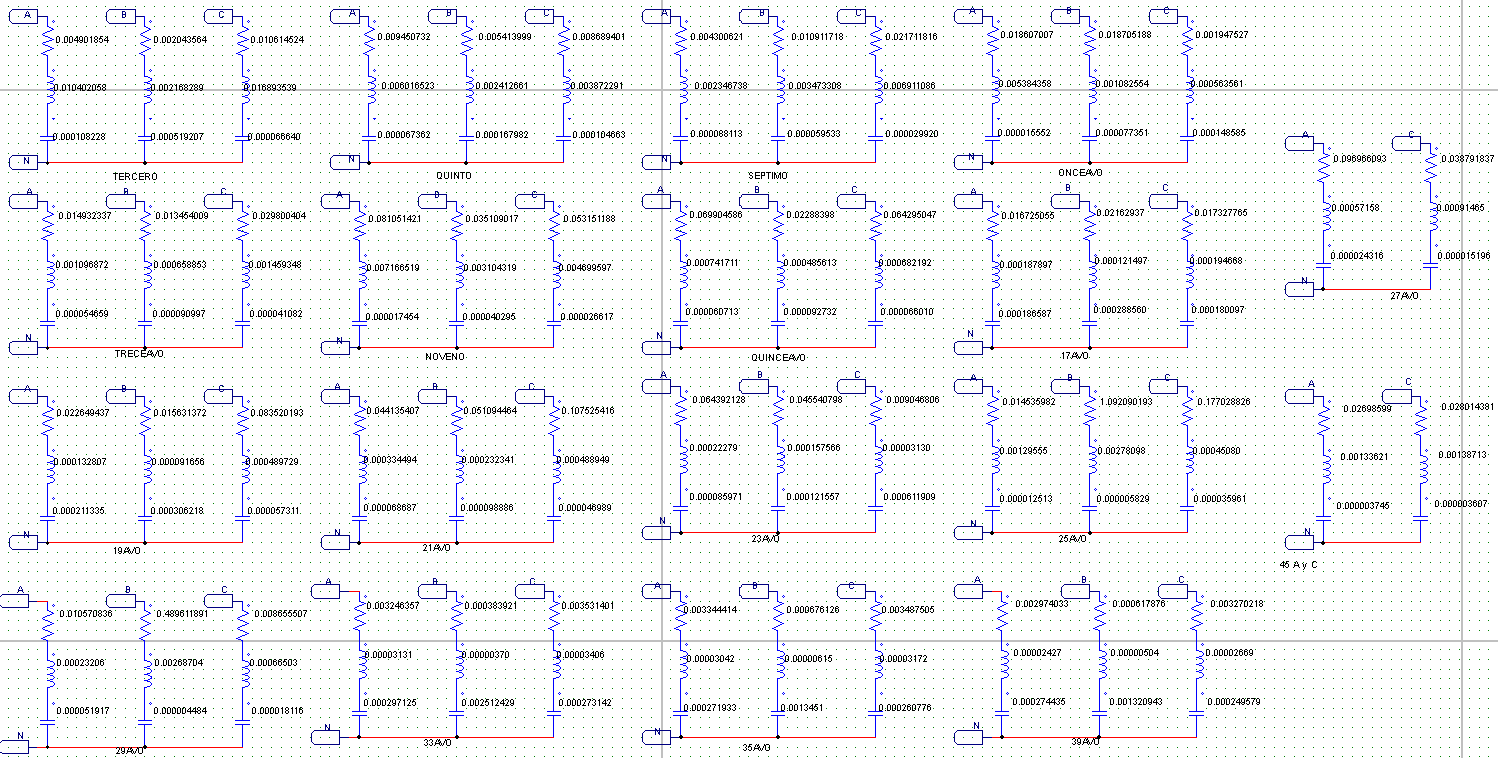
Teniendo los valores de las capacitancias necesarias para corregir el factor de desplazamiento, se hace paso a repartir en partes iguales las capacitancias por fase para los armónicos de orden 39, 33 y 35, puesto que estos son los filtros de más alta frecuencia que están presentes para las 3 fases. Por lo que es necesario calcular ahora la inductancia y la resistencia, como se presenta a continuación:

Obteniendo finalmente:



Posterior a esto se arregló las armónicas que se salían de norma con el adicionamiento de la capacitancia necesaria para la compensación. A continuación se presenta en la Figura 1-2 la disposición de los filtros calculados para el Sistema 1.

Figura 1-2: Disposición de filtros Sistema N°1



### Simulación con Filtros

En las Figuras 1-3, 1-4 y 1-5 se presentan las formas de onda tensión y corriente de las fases A, B y C en el PCC respectivamente, estas son obtenidas en régimen permanente del sistema en el Software PSIM.

Figura 1-3: Formas de onda Fase ‘A’ Sistema N°1

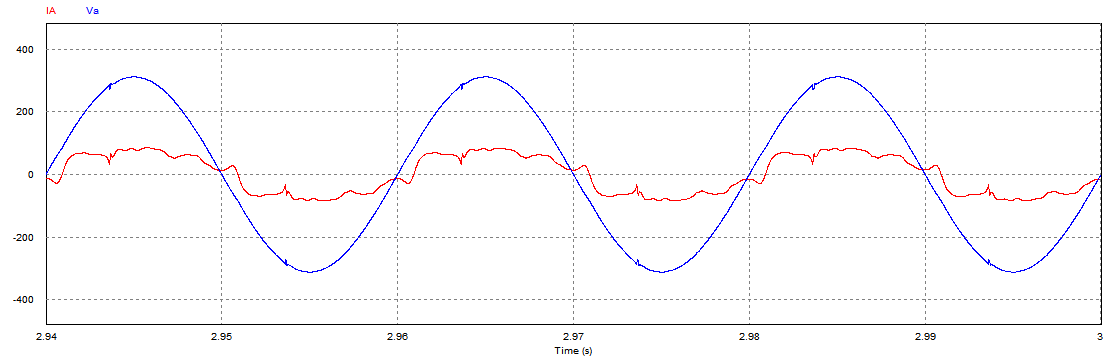


Figura 1-4: Formas de onda Fase ‘B’ Sistema N°1

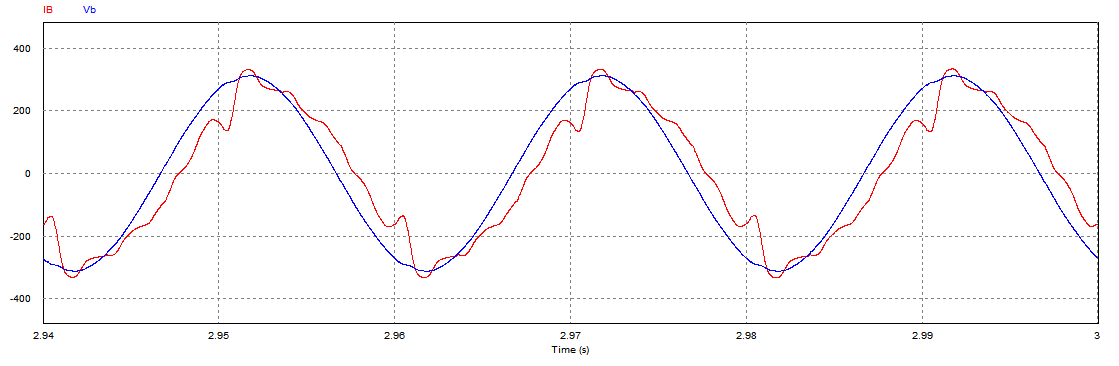
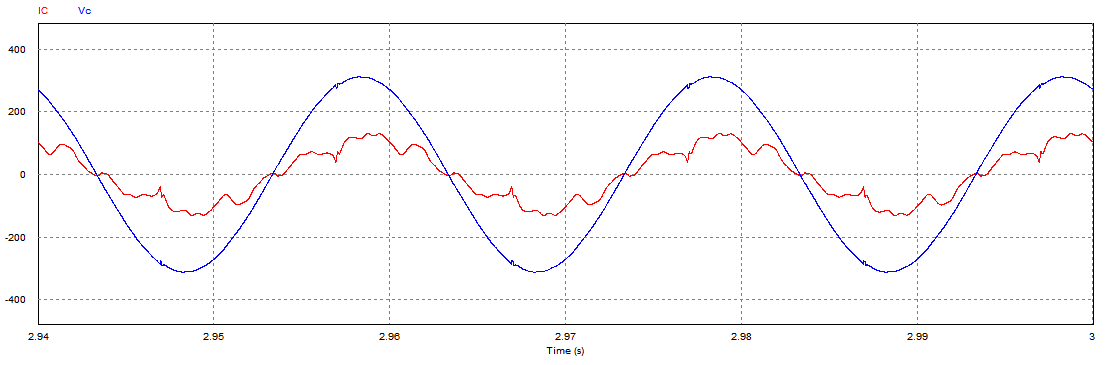


Figura 1-5: Formas de onda Fase ‘C’ Sistema N°1



A simple vista se puede apreciar claramente que el contenido armónico asociado a la corriente circulando por las fases es mucho mayor al de la tensión.

Se presenta la Tabla 1-2 con THD y Factor de Potencia obtenidos de la simulación:

Tabla 1-2: THD y FP obtenidos de PSIM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THD i[%] | 24.6 | 14.6 | 20.8 |
| THD V[%] | 0.5 | 0.7 | 0.56 |
| FP[-] | 0.967 | 0.936 | 0.97 |

En las Figuras 1-6 y 1-7 podemos observar el espectro monolateral para las corrientes y tensiones en el PCC respectivamente.

Figura 1-6: Espectro monolateral de corrientes PCC Sistema N°1

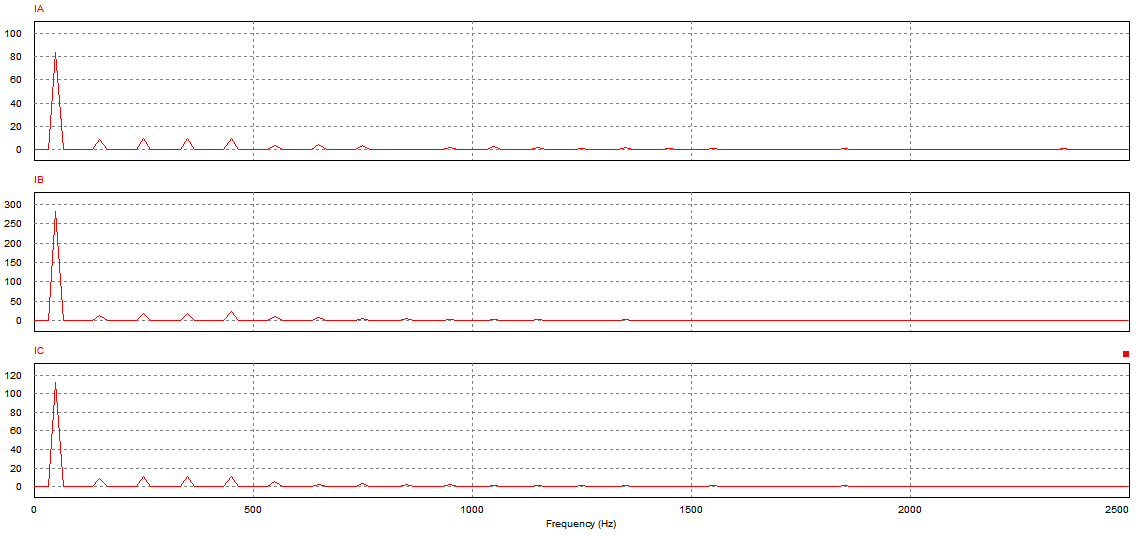
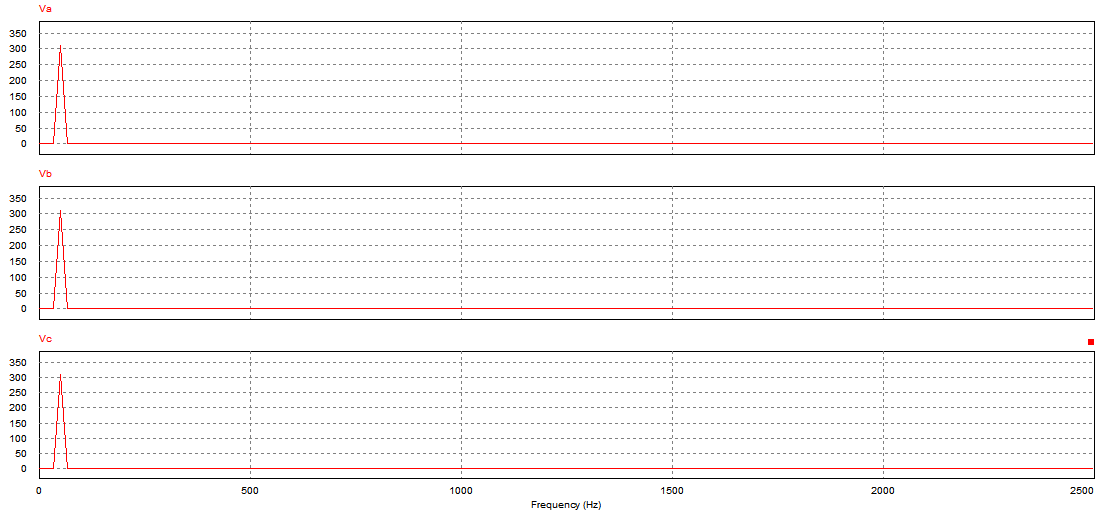


Figura 1-7: Espectro monolateral de tensiones PCC Sistema N°1



El espectro de corrientes de la Figura 1-6 muestra claramente el efecto de los filtros sobre el sistema, atenuando las magnitudes de las armónicas impares para hacer cumplir la norma. La Figura 1-7 muestra que la tensión en el PCC es prácticamente sinusoidal completamente.

## Cálculo con los resultados de la simulación

En esta sección se presentarán los cálculos realizados con los datos obtenidos de PSIM, y trabajados en el software Excel. Estos datos contemplan hasta el armónico de orden 50.

### Factor de desplazamiento

Solamente considera la componente fundamental y se calcula como:

Donde es el ángulo de la tensión fundamental y el ángulo de la corriente fundamental. Usando los resultados de la simulación se obtiene:

Tabla 1-3: Factor desplazamiento Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 0.9951[-] | 0,9458[-] | 0,9941[-] |

### Potencia Aparente Fundamental

### Se calcula con la ecuación:

### Donde son la corriente y tensión de la fundamental. Luego:

### Tabla 1-4: Potencia Aparente fundamental Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 13037[VA] | 43977[VA] | 17503[VA] |

### Potencia Activa Fundamental

Se calcula como:

Se obtiene como resultado:

Tabla 1-5: Potencia Activa fundamental Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 12973[W] | 41594[W] | 17399[W] |

### Potencia Reactiva Fundamental

Se calcula como:

Los resultados obtenidos:

Tabla 1-6: Potencia Reactiva fundamental Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 1288[Var] | 14279[Var] | 1902[Var] |

### Potencia Aparenta Total

### Esta se define:

Luego e , vienen dados por:

### Realizando los cálculos:

Tabla 1-7: Potencia Aparente total Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 13423[VA] | 44518[VA] | 17879[VA] |

Comparando con los valores de la potencia aparente fundamental, podemos observar que estos valores son levemente más grandes, eso se debe a que este cálculo considera las componentes armónicas.

### Potencia Armónica

### Se calcula según la expresión:

Para la cual se obtienen como resultado:

Tabla 1-8: Potencia Armónica Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 3198[VAH] | 6916[VAH] | 3649[VAH] |

### Factor de Potencia

### Se utiliza la ecuación:

Donde:

= Amplitud de la enésima armónica de tensión   
= Amplitud de la enésima armónica de corriente  
= Desfase de la enésima componente de tensión armónica   
= Desfase de la enésima componente de corriente armónica

Para lo cual se obtuvo:

Tabla 1-9: Factor de Potencia Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Calculado | 0.966[-] | 0.934[-] | 0.973[-] |
| Simulado | 0.967[-] | 0.936[-] | 0.97[-] |

No se presenta mayor diferencia en lo teórico con lo simulado.

### Distorsión armónica total THD

### Vamos a tener distorsión de corriente y de tensión, lo cuales son calculados como:

### Realizando los calculos correspondientes:

### Tabla 1-10: THD tensión y corriente Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THDv cálculo[%] | 0.36 | 0.58 | 0.43 |
| THDv simulado[%] | 0.5 | 0.7 | 0.56 |
| THDi cálculo[%] | 24.52 | 14.58 | 20.8 |
| THDi simulado[%] | 24.6 | 14.6 | 20.8 |

### Se puede ver que los THDi y los THDv se corresponden, presentando diferencia mínima entre cálculos y la simulación.

### Profundidad de los Notches

### El sistema tiene la particularidad de ser un sistema dedicado por lo cual la profundidad de los notches no debe ser superior a un 50%.

### La profundidad se calcula como:

Donde Vmax y Vmin son la tensión más alta del notch y la más baja respectivamente.

A continuación se muestran las Figuras de los Notches por fase y se presenta la Tabla con el cálculo de la profundidad

Figura 1-8: Notch fase A  
  
  
Figura 1-9: Notch fase B  
  
Figura 1-10: Notch fase C

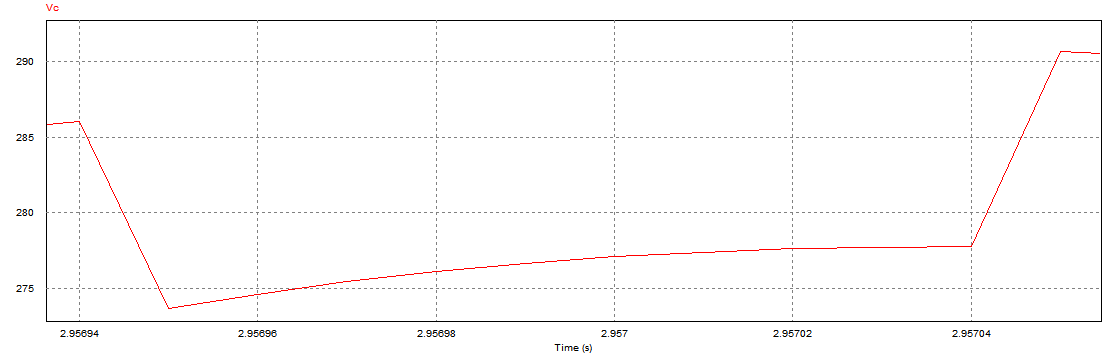
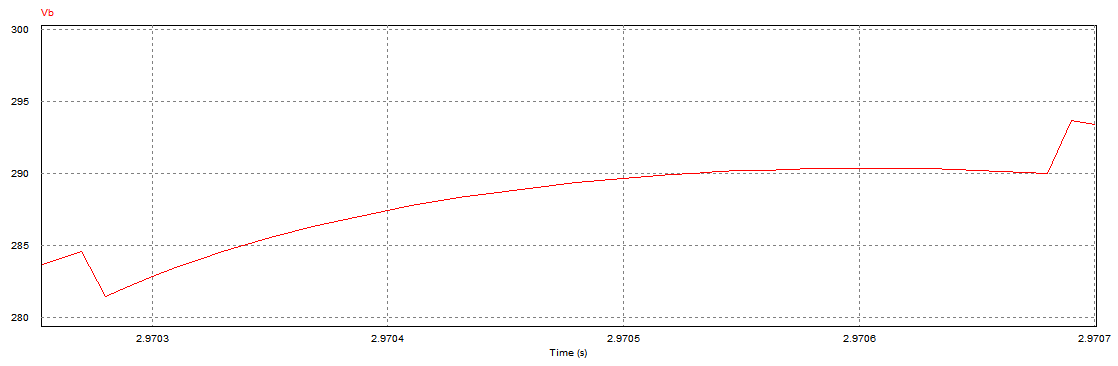
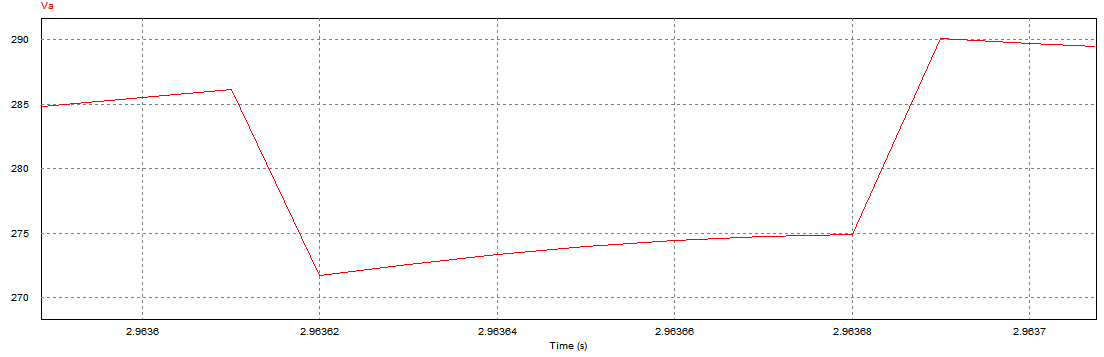


Tabla 1-11: Cálculo de profundidad Notches

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Vmax [V] | Vmin [V] | V1eff [V] | Profundidad% |
| Fase A | 290 | 272 | 220 | 8.2% |
| Fase B | 294 | 282 | 220 | 5.5% |
| Fase C | 291 | 273 | 220 | 8.18% |

Con los resultados obtenidos, podemos indicar que la profundidad de los notches se encuentra dentro de la recomendación.

### Área de los Notches

### La recomendación respecto al Área de los Notches (An) indica que debe ser menor igual a aproximadamente:

Para realizar el cálculo de forma sencilla se aproximará el notch a un rectángulo, entonces el área se obtiene como:

En la Tabla 1-Y, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 1-12: Área de Notches

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Vmax [V] | Vmin [V] | T ] | An[V] |
| Fase A | 290 | 272 | 80 | 1440 |
| Fase B | 294 | 282 | 450 | 5400 |
| Fase C | 291 | 273 | 100 | 1800 |

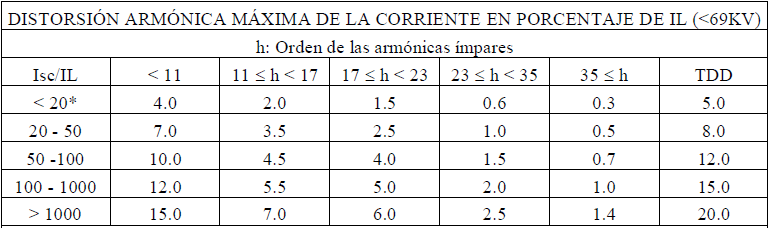
Se puede observar que el An de la fase B es el notoriamente más grande que las otras fases. Pese a esto aparentemente cumplen con la recomendación.

## Evaluación según norma Chilena

Comenzaremos indicando que la norma Chilena respecto al Factor de Potencia exige que este sea mayor igual a 0,93. Para el sistema en las 3 fases nos encontramos con factores de potencia sobre la norma, por lo cual el Sistema N°1 **cumple con la norma de Factor de Potencia**.

La norma respecto a las componentes armónicas de corriente se muestra en la siguiente Figura 1-11:

Figura 1-11: Norma Chilena sobre armónicas de corriente



Para ‘entrar’ a la tabla es necesario saber la razón de Isc/IL. Donde:

Isc: Máxima corriente de cortocircuito en el PCC

IL: Máxima corriente de carga (efectivo) de frecuencia fundamental en el PCC.

Entonces primero se calcula la corriente Isc como:

Ahora tendremos IL para cada una de las fases, este se obtiene de la corriente fundamental, resultando

Tabla 1-13: Razones Isc/IL del Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Isc/IL | 590[-] | 175[-] | 440[-] |

### Ahora con esta información podemos usar la tabla para evaluar las armónicas impares de corriente. Tanto la Fase A, B y C caen en la categoría de 100-1000.

### A continuación se presentanrán las Tablas de evaluación de las corrientes armónicas para cada una de las fases del sistema.

Tabla 1-14: Evaluación de la norma de corrientes Fase A Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ia [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ia [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.015828 | 0.02 | SI |
| 3 | 0.110395 | 0.12 | SI | 29 | 0.004727 | 0.02 | SI |
| 5 | 0.115785 | 0.12 | SI | 31 | 0.006635 | 0.02 | SI |
| 7 | 0.113071 | 0.12 | SI | 33 | 0.000708 | 0.02 | SI |
| 9 | 0.115105 | 0.12 | SI | 35 | 0.000709 | 0.01 | SI |
| 11 | 0.042919 | 0. 055 | SI | 37 | 0.008292 | 0.01 | SI |
| 13 | 0.052506 | 0. 055 | SI | 39 | 0.000510 | 0.01 | SI |
| 15 | 0.040293 | 0. 055 | SI | 41 | 0.002766 | 0.01 | SI |
| 17 | 0.004184 | 0.05 | SI | 43 | 0.002598 | 0.01 | SI |
| 19 | 0.023922 | 0.05 | SI | 45 | 0.002444 | 0.01 | SI |
| 21 | 0.031176 | 0.05 | SI | 47 | 0.004753 | 0.01 | SI |
| 23 | 0.015233 | 0.02 | SI | 49 | 0.003434 | 0.01 | SI |
| 25 | 0.007465 | 0.02 | SI | - | - | - | - |

Tabla 1-15: Evaluación de la norma de corrientes Fase B Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ib [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ib [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.004385 | 0.02 | SI |
| 3 | 0.045465 | 0.12 | SI | 29 | 0.001039 | 0.02 | SI |
| 5 | 0.068981 | 0.12 | SI | 31 | 0.001235 | 0.02 | SI |
| 7 | 0.068254 | 0.12 | SI | 33 | 0.000130 | 0.02 | SI |
| 9 | 0.084077 | 0.12 | SI | 35 | 0.000164 | 0.01 | SI |
| 11 | 0.038325 | 0. 055 | SI | 37 | 0.001458 | 0.01 | SI |
| 13 | 0.022755 | 0. 055 | SI | 39 | 0.000073 | 0.01 | SI |
| 15 | 0.013568 | 0. 055 | SI | 41 | 0.000320 | 0.01 | SI |
| 17 | 0.014783 | 0.05 | SI | 43 | 0.000417 | 0.01 | SI |
| 19 | 0.011799 | 0.05 | SI | 45 | 0.000409 | 0.01 | SI |
| 21 | 0.010087 | 0.05 | SI | 47 | 0.000339 | 0.01 | SI |
| 23 | 0.005378 | 0.02 | SI | 49 | 0.000434 | 0.01 | SI |
| 25 | 0.003529 | 0.02 | SI | - | - | - | - |

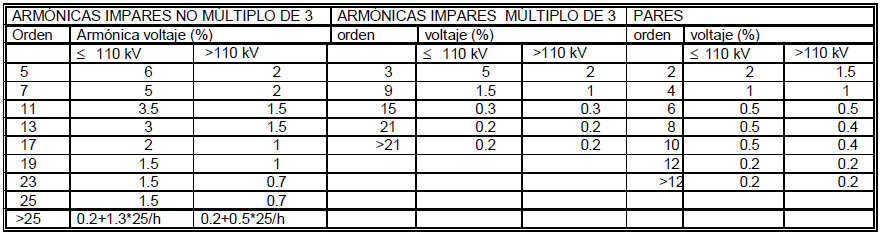
Tabla 1-16: Evaluación de la norma de corrientes Fase C Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ic [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ic [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.010379 | 0.02 | SI |
| 3 | 0.074812 | 0.12 | SI | 29 | 0.001794 | 0.02 | SI |
| 5 | 0.105159 | 0.12 | SI | 31 | 0.008189 | 0.02 | SI |
| 7 | 0.098714 | 0.12 | SI | 33 | 0.000584 | 0.02 | SI |
| 9 | 0.101637 | 0.12 | SI | 35 | 0.000620 | 0.01 | SI |
| 11 | 0.054455 | 0. 055 | SI | 37 | 0.008069 | 0.01 | SI |
| 13 | 0.023586 | 0. 055 | SI | 39 | 0.000406 | 0.01 | SI |
| 15 | 0.031298 | 0. 055 | SI | 41 | 0.001976 | 0.01 | SI |
| 17 | 0.024556 | 0.05 | SI | 43 | 0.003292 | 0.01 | SI |
| 19 | 0.022313 | 0.05 | SI | 45 | 0.002026 | 0.01 | SI |
| 21 | 0.014962 | 0.05 | SI | 47 | 0.003229 | 0.01 | SI |
| 23 | 0.012098 | 0.02 | SI | 49 | 0.004185 | 0.01 | SI |
| 25 | 0.015795 | 0.02 | SI | - | - | - | - |

Todas las armónicas de corriente dentro de la norma.

Ahora para evaluar la norma Chilena de tensión, se utilizará la siguiente Figura 1-12:

Figura 1-12: Norma para las armónicas de voltaje



El sistema que se está trabajando cae en la categoría de ser inferior a 110kV, además los armónicos pares que presentan las 3 fases son todos inferiores a 0,2%( armónicos pares cumplen), dicho esto se evaluará la norma solo para las armónicas impares de tensión.

Tabla 1-17: Evaluación de la norma de tensión Fase A Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Va [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Va [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000742 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000551 | 0.05 | SI | 29 | 0.000258 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.000981 | 0.06 | SI | 31 | 0.000335 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.001354 | 0.05 | SI | 33 | 0.000059 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.001760 | 0.015 | SI | 35 | 0.000076 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.000803 | 0.035 | SI | 37 | 0.000537 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.001169 | 0.03 | SI | 39 | 0.000058 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.001031 | 0.003 | SI | 41 | 0.000199 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.000103 | 0.02 | SI | 43 | 0.000199 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.000773 | 0.015 | SI | 45 | 0.000178 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.001119 | 0.002 | SI | 47 | 0.000384 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.000615 | 0.015 | SI | 49 | 0.000287 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.000328 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

Tabla 1-18: Evaluación de la norma de tensión Fase B Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Vb [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Vb [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000684 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000776 | 0.05 | SI | 29 | 0.000158 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.001978 | 0.06 | SI | 31 | 0.000202 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.002740 | 0.05 | SI | 33 | 0.000030 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.004340 | 0.015 | SI | 35 | 0.000018 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.002419 | 0.035 | SI | 37 | 0.000308 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.001696 | 0.03 | SI | 39 | 0.000022 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.001159 | 0.003 | SI | 41 | 0.000072 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.001433 | 0.02 | SI | 43 | 0.000101 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.001278 | 0.015 | SI | 45 | 0.000108 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.001201 | 0.002 | SI | 47 | 0.000084 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.000692 | 0.015 | SI | 49 | 0.000115 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.000497 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

Tabla 1-19: Evaluación de la norma de tensión Fase C Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Vc [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Vc [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000659 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000517 | 0.05 | SI | 29 | 0.000137 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.001215 | 0.06 | SI | 31 | 0.000565 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.001567 | 0.05 | SI | 33 | 0.000067 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.002103 | 0.015 | SI | 35 | 0.000067 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.001366 | 0.035 | SI | 37 | 0.000705 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.000696 | 0.03 | SI | 39 | 0.000062 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.001087 | 0.003 | SI | 41 | 0.000204 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.000946 | 0.02 | SI | 43 | 0.000341 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.000966 | 0.015 | SI | 45 | 0.000223 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.000720 | 0.002 | SI | 47 | 0.000361 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.000612 | 0.015 | SI | 49 | 0.000484 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.000924 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

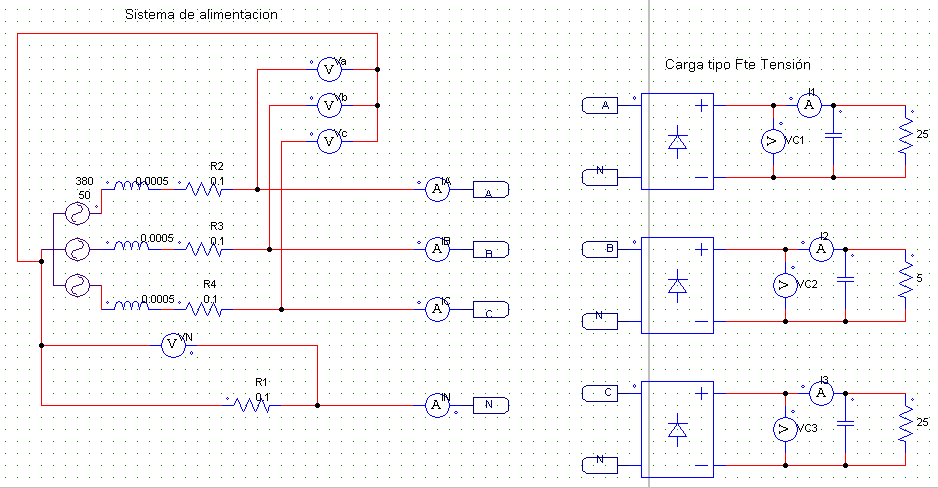
Finalmente, la norma también exige que se cumpla el indicador TDD, para nuestro caso como la demanda es constante usaremos el THDi para comparar y ver si se cumple la norma.

Tabla 1-20: Evaluación TDD Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | THDi% | TDD% normativo | ¿Cumple? |
| Fase A | 24.5% | 15% | NO |
| Fase B | 14.58% | 15% | SI |
| Fase C | 20.8% | 15% | NO |

# Sistema N°2

El segundo sistema con frecuencia fundamental 50[Hz], tiene una carga con comportamiento tipo fuente de tensión. Se usarán filtros serie resonante para filtrar, tal como se hizo para el Sistema 1, y además se utilizarán filtros de bloqueo (conectados en serie a la fase) los cuales se componen de una rama RLC paralelo. El Sistema 2 se presenta a continuación en la Figura 2-1.

  
Figura 2-1: Simulación en PSIM de Sistema 2

La estrategia a utilizar para el filtrado será muy similar a la del Sistema 1, se utilizarán los filtros de forma combinada, para lograr filtrar las armónicas del sistema. Es importante notar que el Sistema 2 sin filtros cumple con tener un factor de potencia dentro de la norma, por lo cual el adicionamiento de filtros provocará un desplazamiento notorio del factor de potencia.

Para el cálculo de los filtros de bloqueo, se utilizará tanto una capacitancia fija (aproximadamente 60[μF]) y una resistencia fija también (5000[ohm]), luego se calculará la inductancia necesaria para que resuene para el armónico enésimo, según la ecuación:

Teniendo en cuenta esto se da paso al cálculo de los filtros para el Sistema 2.

## Cálculo de Filtros

Se presentan los cálculos de los filtros usados para el Sistema 2 los cuales fueron obtenidos usando planilla Excel, primero se presentan los filtros de confinamiento y luego los filtros de bloqueo utilizados.





Luego los filtros de bloqueo todos usan , luego el cálculo de la inductancia de resonancia se muestra a continuación:

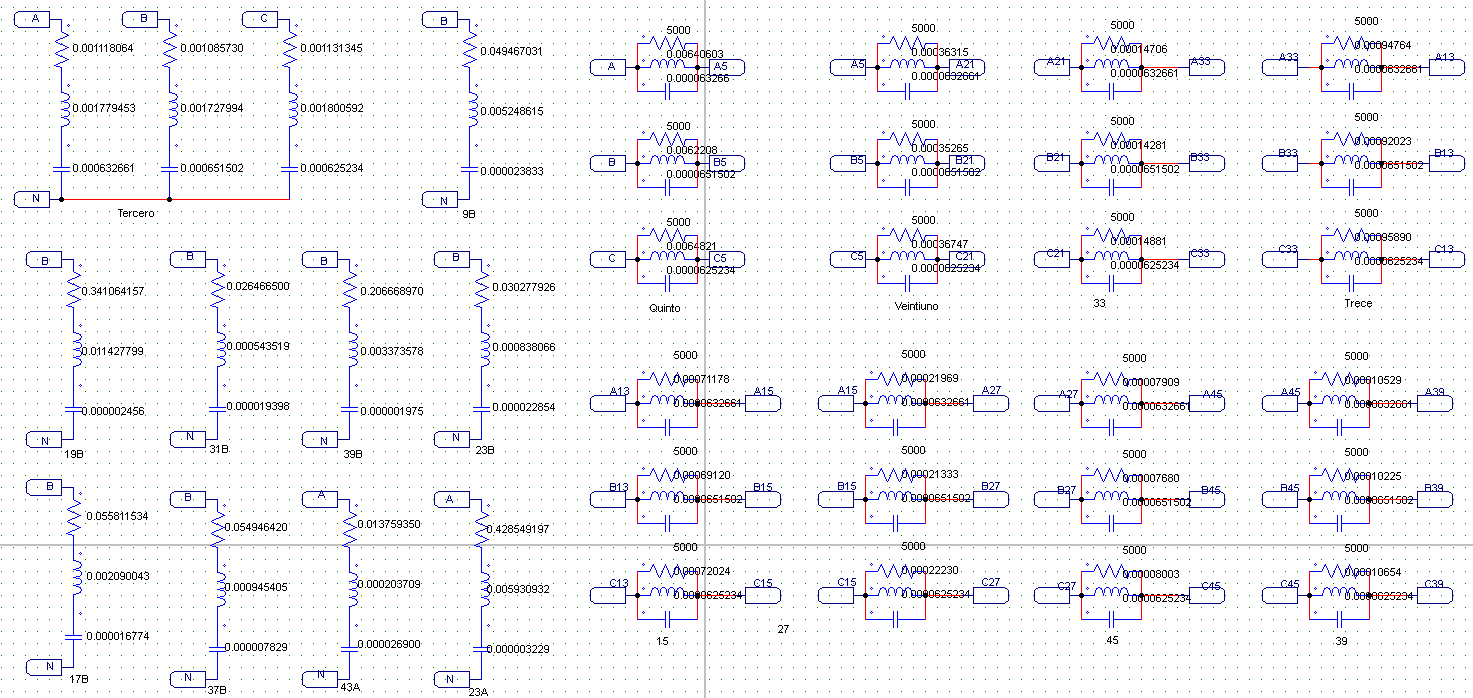






Luego de haber calculado e implementado todos los filtros, se verificó que la norma de corriente y tensión se cumplieran de forma satisfactoria. A continuación en la Figura 2-2 se muestra la disposición de los filtros en el software de simulación PSIM.

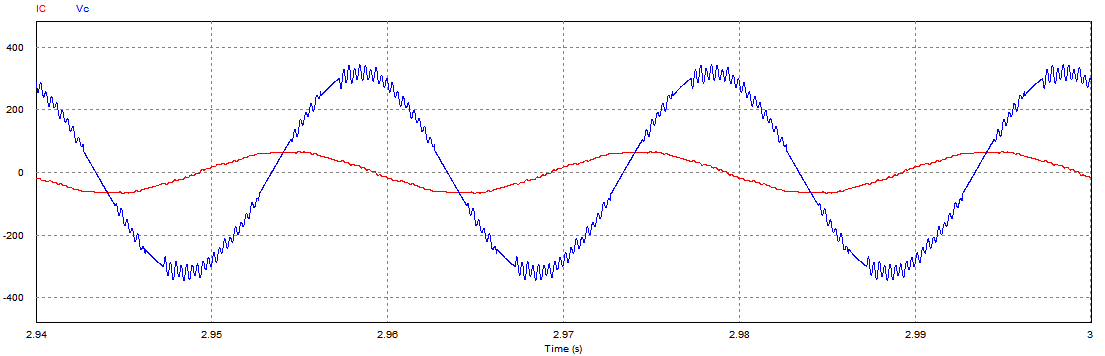
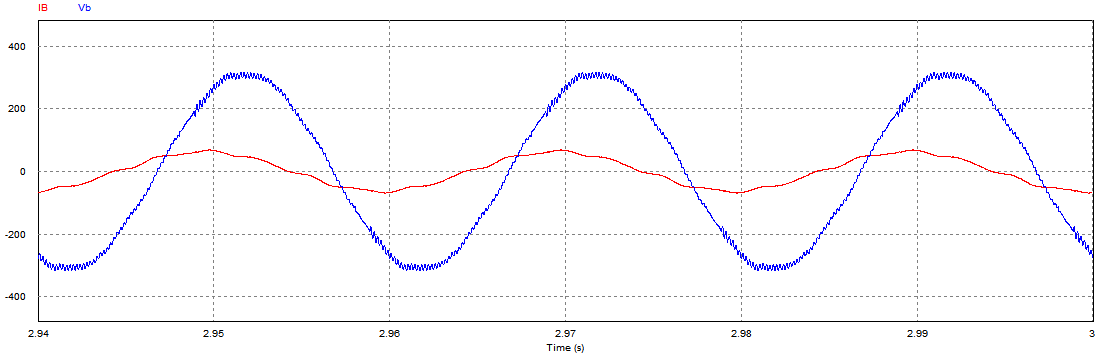
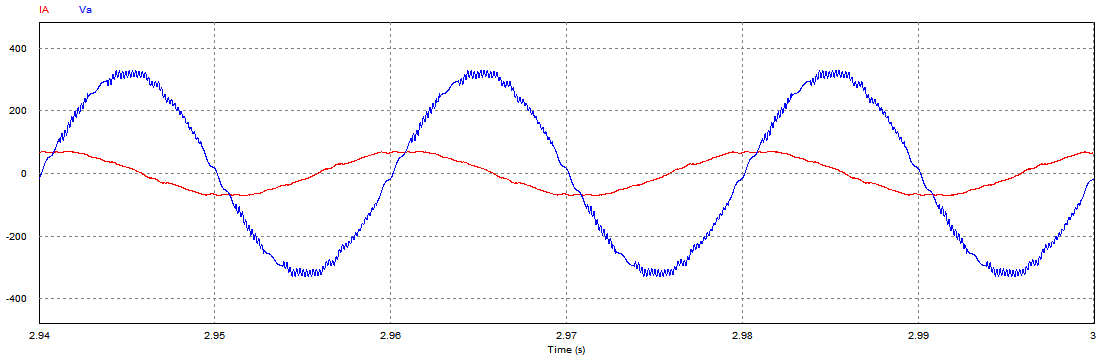
Figura 2-2: Disposición de filtros de Sistema 2



### Simulación con Filtros

En las Figuras 2-3, 2-4 y 2-5 se presentan las formas de onda de tensión y corriente de las fases A, B y C en el PCC respectivamente, las cuales son obtenidas en régimen permanente del sistema.

Figura 2-3: Formas de onda Fase A Sistema N°2  
  
  
  
Figura 2-4: Formas de onda Fase B Sistema N°2  
  
  
Figura 2-5: Formas de onda Fase C Sistema N°2



Como se puede apreciar en estas formas de onda, las corrientes que antes eran pulsadas, con el filtrado, pasan a ser mucho más sinusoidales, además en el formato de onda de la tensión se aprecia a simple vista que tiene una contaminación de alta frecuencia.

También se puede ver a simple vista que el factor de desplazamiento está fuera de los rangos que permite la norma, pese a intentar arreglar esta situación adicionando inductancias, no se ha logrado corregir este efecto de forma satisfactoria.

Se presenta la Tabla 2-1 con el THD y Factor de Potencia obtenidos de la simulación:

Tabla 2-1: THD y FP obtenidos de PSIM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THD i[%] | 4.8 | 7.67 | 5 |
| THD V[%] | 3.39 | 3.05 | 5.1 |
| FP[-] | 0.227 | 0.747 | 0.256 |

En las Figuras 2-6 y 2-7 podemos observar los espectros monolateral para las corrientes y tensiones en el PCC respectivamente.

Figura 2-6: Espectro monolateral de corrientes en el PCC Sistema N°2

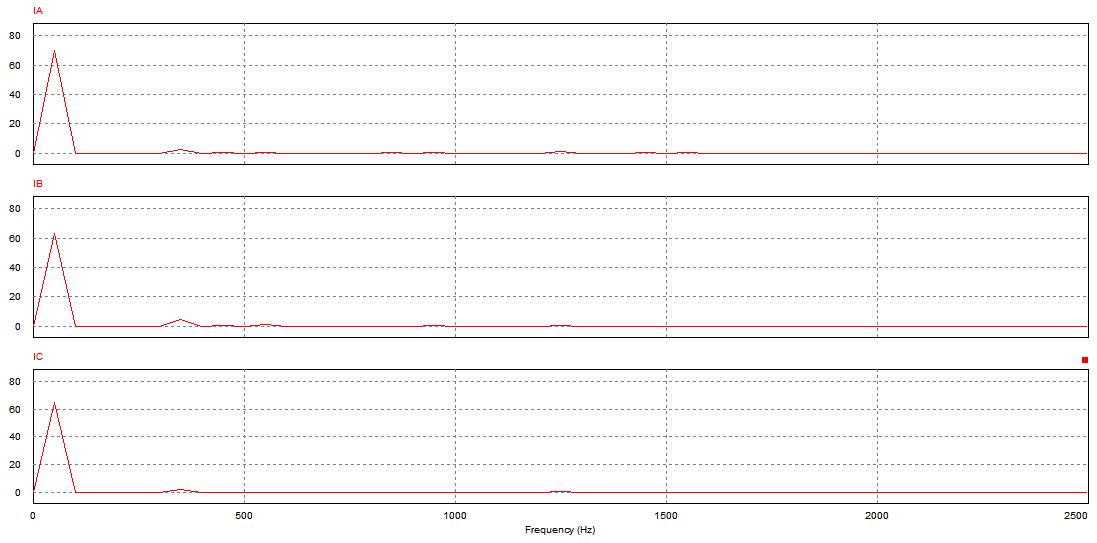
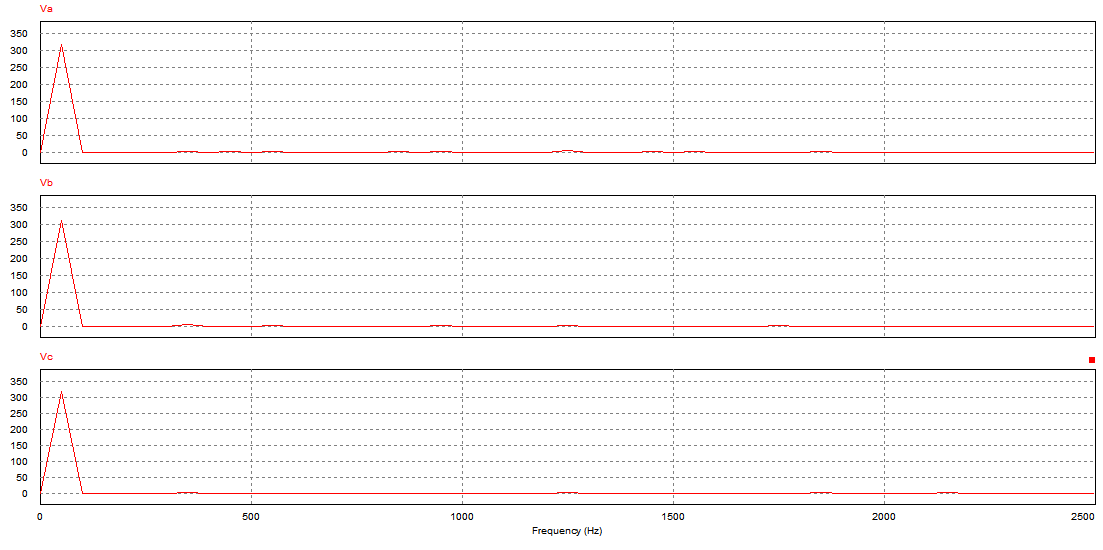


Figura 2-7: Espectro monolateral de tensiones en el PCC Sistema N°2



Se puede observar cómo es que la inserción de los filtros ha logrado de forma satisfactoria atenuar la magnitud de las armónicas hasta el orden 50.

## Cálculo con los resultados de la simulación

Al igual que el sistema N°1, estos datos fueron obtenidos de PSIM y trabajados con el software Excel. Estos datos comprenden hasta el armónico de orden 50.

### Factor de desplazamiento

Solamente considera la componente fundamental y se calcula como:

Donde es el ángulo de la tensión fundamental y el ángulo de la corriente fundamental. Usando los resultados de la simulación se obtiene:

Tabla 2-2: Factor desplazamiento Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 0,2282 [-] | 0,7501[-] | 0,2564 [-] |

### Potencia Aparente Fundamental

### Se calcula con la ecuación:

### Donde son la corriente y tensión de la fundamental. Luego:

### Tabla 2-3: Potencia Aparente fundamental Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 11189 [VA] | 9882 [VA] | 10341[VA] |

### Potencia Activa Fundamental

Se calcula como:

Se obtiene como resultado:

Tabla 2-4: Potencia Activa fundamental Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 2553[W] | 7412 [W] | 2652 [W] |

### Potencia Reactiva Fundamental

Se calcula como:

Los resultados obtenidos:

Tabla 2-5: Potencia Reactiva fundamental Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| -10894 [Var] | -6535 [Var] | -9995 [Var] |

### Potencia Aparente Total

### Esta se define:

Luego e , vienen dados por:

### Realizando los cálculos:

Tabla 2-6: Potencia Aparente total Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 11204 [VA] | 10147 [VA] | 10384 [VA] |

Comparando con los valores de la potencia aparente fundamental, podemos observar que estos valores son levemente más grandes, eso se debe a que este cálculo considera las componentes armónicas.

### Potencia Armónica

### Se calcula según la expresión:

Para la cual se obtienen como resultado:

Tabla 2-7: Potencia Armónica Sistema N°2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 588 [VAH] | 2305[VAH] | 938 [VAH] |

### Factor de Potencia

### Se utiliza la ecuación:

Donde:

= Amplitud de la enésima armónica de tensión   
= Amplitud de la enésima armónica de corriente  
= Desfase de la enésima componente de tensión armónica   
= Desfase de la enésima componente de corriente armónica

Para lo cual se obtuvo:

Tabla 2-8: Factor de Potencia Sistema N°2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Calculado | 0.22786[-] | 0.73049 [-] | 0.25537[-] |
| Simulado | 0.227[-] | 0.747[-] | 0.256[-] |

No hay mayor diferencia entro lo teórico y lo simulado para el factor de potencia.

### Distorsión Armónica Total THD

### Vamos a tener distorsión de corriente y de tensión, lo cuales son calculados como:

### Realizando los calculos correspondientes:

### Tabla 2-9: THD tensión y corriente Sistema N°2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THDv cálculo[%] | 2.18 | 2.29 | 3.84 |
| THDv simulado[%] | 3.39 | 3.05 | 5.1 |
| THDi cálculo[%] | 4.78 | 7.6 | 4.5 |
| THDi simulado[%] | 4.8 | 7.67 | 5 |

Los THD de corriente están muy cercanos, pero los de tensión presentan una mayor diferencia que se atribuye a que el cálculo solo considera hasta la armónica 50, en cambio PSIM trabaja con mayor exactitud (considerando contenido en alta frecuencia).

## Evaluación según norma Chilena

La norma Chilena respecto al Factor de Potencia exige que este sea mayor igual a 0,93. Para el sistema N°2, las 3 fases tiene un factor de potencia bajo la norma, por tanto **no cumple la norma del factor de potencia**.

La norma respecto a las componentes armónicas de corriente es la misma que se utilizó para el sistema N°1.

Para ‘entrar’ a la tabla es necesario saber la razón de Isc/IL. Donde:

Isc: Máxima corriente de cortocircuito en el PCC

IL: Máxima corriente de carga (efectivo) de frecuencia fundamental en el PCC.

Entonces primero se calcula la corriente Isc como (se desprecia la resistencia):

Ahora tendremos IL para cada una de las fases, este se obtiene de la corriente fundamental efectiva, resultando:

Tabla 2-10: Razones Isc/IL del Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Isc/IL | 28[-] | 31[-] | 30[-] |

### Ahora con esta información podemos usar la tabla para evaluar las armónicas impares de corriente. Tanto la Fase A, B y C caen en la categoría 20-50.

### A continuación se presentanrán las Tablas de evaluación de las corrientes armónicas para cada una de las fases del sistema.

Tabla 2-11: Evaluación de la norma de corrientes Fase A Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ia [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ia [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.001216 | 0.01 | SI |
| 3 | 0.000291 | 0.07 | SI | 29 | 0.004241 | 0.01 | SI |
| 5 | 0.000119 | 0.07 | SI | 31 | 0.006356 | 0.01 | SI |
| 7 | 0.039904 | 0.07 | SI | 33 | 0.000035 | 0.01 | SI |
| 9 | 0.008777 | 0.07 | SI | 35 | 0.000642 | 0.005 | SI |
| 11 | 0.005986 | 0.035 | SI | 37 | 0.001353 | 0.005 | SI |
| 13 | 0.000068 | 0.035 | SI | 39 | 0.000003 | 0.005 | SI |
| 15 | 0.000051 | 0.035 | SI | 41 | 0.000038 | 0.005 | SI |
| 17 | 0.010720 | 0.025 | SI | 43 | 0.000086 | 0.005 | SI |
| 19 | 0.011336 | 0.025 | SI | 45 | 0.000002 | 0.005 | SI |
| 21 | 0.000175 | 0.025 | SI | 47 | 0.000029 | 0.005 | SI |
| 23 | 0.000910 | 0.01 | SI | 49 | 0.000041 | 0.005 | SI |
| 25 | 0.009569 | 0.01 | SI | - | - | - | - |

Tabla 2-12: Evaluación de la norma de corrientes Fase B Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ib [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ib [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000174 | 0.01 | SI |
| 3 | 0.000175 | 0.07 | SI | 29 | 0.001120 | 0.01 | SI |
| 5 | 0.000128 | 0.07 | SI | 31 | 0.000451 | 0.01 | SI |
| 7 | 0.069251 | 0.07 | SI | 33 | 0.000017 | 0.01 | SI |
| 9 | 0.003704 | 0.07 | SI | 35 | 0.001941 | 0.005 | SI |
| 11 | 0.015797 | 0.035 | SI | 37 | 0.000603 | 0.005 | SI |
| 13 | 0.000139 | 0.035 | SI | 39 | 0.000014 | 0.005 | SI |
| 15 | 0.000179 | 0.035 | SI | 41 | 0.000156 | 0.005 | SI |
| 17 | 0.000163 | 0.025 | SI | 43 | 0.000700 | 0.005 | SI |
| 19 | 0.005644 | 0.025 | SI | 45 | 0.000007 | 0.005 | SI |
| 21 | 0.000048 | 0.025 | SI | 47 | 0.000056 | 0.005 | SI |
| 23 | 0.000175 | 0.01 | SI | 49 | 0.000107 | 0.005 | SI |
| 25 | 0.005789 | 0.01 | SI | - | - | - | - |

Tabla 2-13: Evaluación de la norma de corrientes Fase C Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Ic [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Ic [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000050 | 0.01 | SI |
| 3 | 0.000348 | 0.07 | SI | 29 | 0.003482 | 0.01 | SI |
| 5 | 0.000139 | 0.07 | SI | 31 | 0.001402 | 0.01 | SI |
| 7 | 0.040058 | 0.07 | SI | 33 | 0.000062 | 0.01 | SI |
| 9 | 0.008034 | 0.07 | SI | 35 | 0.003687 | 0.005 | SI |
| 11 | 0.005929 | 0.035 | SI | 37 | 0.004895 | 0.005 | SI |
| 13 | 0.000071 | 0.035 | SI | 39 | 0.000022 | 0.005 | SI |
| 15 | 0.000049 | 0.035 | SI | 41 | 0.001318 | 0.005 | SI |
| 17 | 0.004786 | 0.025 | SI | 43 | 0.004698 | 0.005 | SI |
| 19 | 0.001815 | 0.025 | SI | 45 | 0.000024 | 0.005 | SI |
| 21 | 0.000039 | 0.025 | SI | 47 | 0.000489 | 0.005 | SI |
| 23 | 0.007304 | 0.01 | SI | 49 | 0.002398 | 0.005 | SI |
| 25 | 0.009884 | 0.01 | SI | - | - | - | - |

Todas las armónicas de corriente dentro de la norma.

Ahora para evaluar la norma Chilena de tensión, se utilizará la misma norma utilizada para evaluar el Sistema N°1:

El sistema que se está trabajando cae en la categoría de ser inferior a 110kV, además los armónicos pares que presentan las 3 fases son todos inferiores a 0,2% (armónicos pares cumplen), dicho esto se evaluará la norma solo para las armónicas impares de tensión.

Tabla 2-14: Evaluación de la norma de tensión Fase A Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Va [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Va [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.001127 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000038 | 0.05 | SI | 29 | 0.004231 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.000052 | 0.06 | SI | 31 | 0.006812 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.009663 | 0.05 | SI | 33 | 0.000070 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.002741 | 0.015 | SI | 35 | 0.000761 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.002212 | 0.035 | SI | 37 | 0.001758 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.000047 | 0.03 | SI | 39 | 0.000025 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.000046 | 0.003 | SI | 41 | 0.000085 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.006304 | 0.02 | SI | 43 | 0.000154 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.007423 | 0.015 | SI | 45 | 0.000046 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.000172 | 0.002 | SI | 47 | 0.000035 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.000673 | 0.015 | SI | 49 | 0.000060 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.014295 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

Tabla 2-15: Evaluación de la norma de tensión Fase B Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Vb [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Vb [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000156 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000033 | 0.05 | SI | 29 | 0.001060 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.000008 | 0.06 | SI | 31 | 0.000445 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.016652 | 0.05 | SI | 33 | 0.000056 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.001102 | 0.015 | SI | 35 | 0.002129 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.005590 | 0.035 | SI | 37 | 0.000724 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.000049 | 0.03 | SI | 39 | 0.000052 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.000126 | 0.003 | SI | 41 | 0.000179 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.000092 | 0.02 | SI | 43 | 0.000943 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.003470 | 0.015 | SI | 45 | 0.000018 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.000053 | 0.002 | SI | 47 | 0.000076 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.000148 | 0.015 | SI | 49 | 0.000149 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.004634 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

Tabla 2-16: Evaluación de la norma de tensión Fase C Sistema N°2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | Vc [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? | Orden Armónico | Vc [pu] | Norma [pu] | ¿cumple? |
| 1 | 1 | - | - | 27 | 0.000055 | 0.002 | SI |
| 3 | 0.000059 | 0.05 | SI | 29 | 0.003282 | 0.01321 | SI |
| 5 | 0.000083 | 0.06 | SI | 31 | 0.001441 | 0.01248 | SI |
| 7 | 0.009003 | 0.05 | SI | 33 | 0.000071 | 0.002 | SI |
| 9 | 0.002319 | 0.015 | SI | 35 | 0.004060 | 0.01129 | SI |
| 11 | 0.002108 | 0.035 | SI | 37 | 0.008426 | 0.01078 | SI |
| 13 | 0.000101 | 0.03 | SI | 39 | 0.000078 | 0.002 | SI |
| 15 | 0.000056 | 0.003 | SI | 41 | 0.001766 | 0.00993 | SI |
| 17 | 0.002553 | 0.02 | SI | 43 | 0.007830 | 0.00956 | SI |
| 19 | 0.001081 | 0.015 | SI | 45 | 0.000059 | 0.002 | SI |
| 21 | 0.000010 | 0.002 | SI | 47 | 0.000765 | 0.00891 | SI |
| 23 | 0.005347 | 0.015 | SI | 49 | 0.003770 | 0.00863 | SI |
| 25 | 0.008473 | 0.015 | SI | - | - | - | - |

Todas las tensiones hasta el armónico 50 dentro de la norma.

Finalmente, la norma también exige que se cumpla el indicador TDD, para nuestro caso como la demanda es constante usaremos el THDi para comparar y ver si se cumple la norma.

Tabla 2-17: Evaluación TDD Sistema N°2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | THDi% | TDD% normativo | ¿Cumple? |
| Fase A | 4.78% | 8% | SI |
| Fase B | 7.65% | 8% | SI |
| Fase C | 4.49% | 8% | SI |

# Discusión y conclusiones

Para ambos sistemas se logró dejar dentro de la norma las componentes armónicas hasta el orden 50, tanto de tensión y corriente en las 3 fases.

Es importante mencionar que la implementación de los filtros en el sistema tenía un efecto importante en la magnitud de la fundamental, para el Sistema 1 las corrientes fundamentales de las 3 fases, se vieron disminuidas con la inserción progresiva de los filtros. En cambio para el Sistema 2 las corrientes de la fundamental aumentaron su magnitud notoriamente, quedando las 3 fases en un valor similar.

Para el Sistema 1 se logró filtrar con éxito, haciendo que las corrientes que antes presentaban un formato de onda cuadrado, se volvieran cada vez más sinusoidales y estuvieran en fase con la tensión. Además al filtrar las corrientes se logró inmediatamente que las tensiones del sistema también cumplieran la norma. Si bien las corrientes entran en la norma, el THD no cumple con la recomendación, esto se atribuye principalmente a que las magnitudes armónicas tras el filtrado quedan muy cerca de la norma.

En el Sistema 2, las corrientes que antes presentaban un bajo valor en la fundamental y con un formato de onda pulsado, con la implementación de los filtros se logró llegar a un formato de onda de corriente sinusoidal reduciendo notoriamente la distorsión armónica de corriente. Cabe mencionar que para el Sistema 2 no bastó con filtrar solo las corrientes para hacer entrar en norma la tensión, sino que fue necesario adicionar filtros solo para filtrar armónicas de tensión. Si bien no se cumplió con el requerimiento de factor de potencia, el resto de los objetivos fue logrado y el THD cumple con la norma.

Es importante además mencionar que los Notches de tensión del Sistema 1 después del filtrado fueron reducidos notoriamente, siendo el de la Fase B casi imperceptible.

Por último se presenta la discusión respecto a que los sistemas en la realidad son dinámicos, por lo cual la implementación de los filtros pasivos debe ser realizada preferentemente en la cercanía a cargas que no tengan mayores variaciones en su comportamiento.

###### Bibliografía

[1] Apuntes “Armónicas en Sistemas de Baja Tensión”. Profesor Domingo Ruiz Caballero.