

**Diego Andrés Cisternas Herrera**

**Armónicas en Sistemas de Baja Tensión  
Trabajo N°1**

**Profesor Sr. Domingo Ruiz Caballero**

**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

Resumen

Es obligatorio escribir un resumen en español y en inglés. En la medida de lo posible debe c

Palabras claves: protocolo, redes de computadores, sistema operativo, programación.

Índice general

[Introducción 1](#_Toc513453721)

[1 Sistema N°1 2](#_Toc513453722)

[1.1 Simular el Sistema 2](#_Toc513453723)

[1.1.1 Formas de onda y análisis armónico 3](#_Toc513453724)

[1.2 Cálculo con los resultados de la simulación 8](#_Toc513453725)

[1.2.1 Factor de desplazamiento 8](#_Toc513453726)

[1.2.2 Potencia Aparente Fundamental 8](#_Toc513453727)

[1.2.3 Potencia Activa Fundamental 8](#_Toc513453738)

[1.2.4 Potencia Reactiva Fundamental 9](#_Toc513453745)

[1.2.5 Potencia Aparenta Total 9](#_Toc513453752)

[1.2.6 Potencia Armónica 10](#_Toc513453761)

[1.2.7 Factor de Potencia 10](#_Toc513453769)

[1.2.8 Distorsión armónica total THD 11](#_Toc513453771)

[1.2.9 Profundidad de los Notches 11](#_Toc513453786)

[asdasd 11](#_Toc513453787)

[1.2.10 Área de los Notches 11](#_Toc513453788)

[Asdasdasd 11](#_Toc513453789)

[1.3 Evaluar según norma Chilena 11](#_Toc513453790)

[Discusión y conclusiones 20](#_Toc513454322)

# Introducción

El Informe Final es un documento que resume el trabajo realizado en las asignaturas de Seminario

# Sistema N°1

El primer sistema con frecuencia fundamental 50[Hz], presenta una carga con comportamiento tipo fuente de corriente.

## Simular el Sistema

La simulación se realiza en el Software PSIM, el cual permite obtener las formas de onda del sistema y además mediante el uso de la Transformada Rápida de Fourier (TFF) obtener tanto amplitudes como desfases de las armónicas a estudiar. A continuación en la Figura 1-1 se presenta el sistema en el software de simulación.

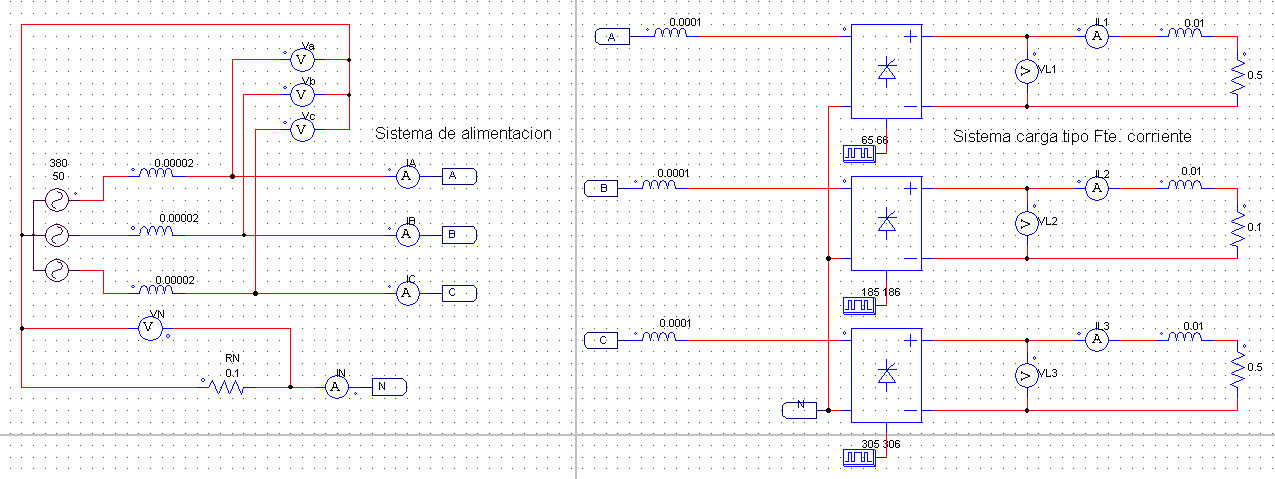


Figura 1-1: Simulación Sistema 1

Como se puede apreciar el sistema es trifásico y desbalanceado.

La fase A y C son ‘idénticas’, con esto se refiere a que los elementos en ambas fases son los mismos (exceptuando las fuentes, que se llevan por un desfase de 120°), por lo cual se espera que las magnitudes tanto de corriente y tensión sean muy similares.

La carga está compuesta por tres unidades monofásicas puente de tiristores que disparan con ángulo α=65° y van a una carga tipo RL serie, teniendo la inductancia de la carga un valor elevado, se espera que el comportamiento de la carga sea como el de una fuente de corriente.

A continuación se presenta en la Tabla 1-1 los detalles de los parámetros que componen el Sistema.

Tabla 1-1: Detalle de parámetros del sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fase | Fasor (peak) Alimentación[V] | Impedancia Alimentador | Impedancia Conmutación | Carga parte Resistiva[Ohm] | Carga parte Inductiva[Hy] |
| A | 311|0° | 20H] | 100H] | 0.5 | 0.01 |
| B | 311|-120° | 20H] | 100H] | 0.1 | 0.01 |
| C | 311|120° | 20H] | 100H] | 0.5 | 0.01 |
| Neutro | - | 0.1 [Ohm] | - | - | - |

### Formas de onda y análisis armónico

Es importante visualizar las formas de onda del sistema, para verificar que los desfases sean los correctos y que las magnitudes estén dentro de los rangos esperados. A continuación en la Figura 1-2 y 1-3 se presentan las formas de onda de corriente y tensión en el PCC respectivamente.

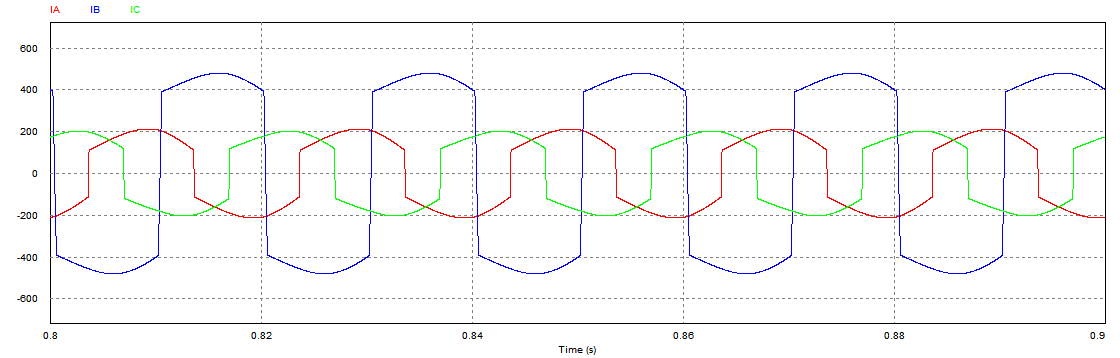


Figura 1-2: Corrientes en el PCC Sistema N°1

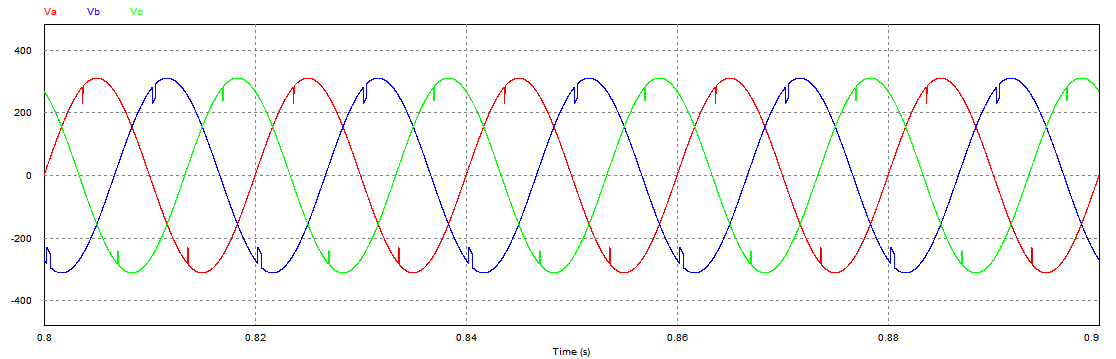


Figura 1-3: Tensiones en el PCC Sistema N°1

Como se puede observar en la Figura 1-2, se muestra que las magnitudes de corriente de las fases A y C son casi idénticas. La fase B tiene una mayor magnitud, esto se debe a que la carga monofásica presenta un valor resistivo más bajo en esta fase. Además las formas de onda de corriente tienden a ser cuadradas, producto del comportamiento de la carga.

Luego en la Figura 1-3 se puede observar que las tensiones en el PCC no presentan mayor diferencia de amplitud entre sí, pero se puede observar claramente que los Notches de la fase B presentan un área mayor, que los de las fases A y C.

En las Figuras 1-4, 1-5 y 1-6 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.

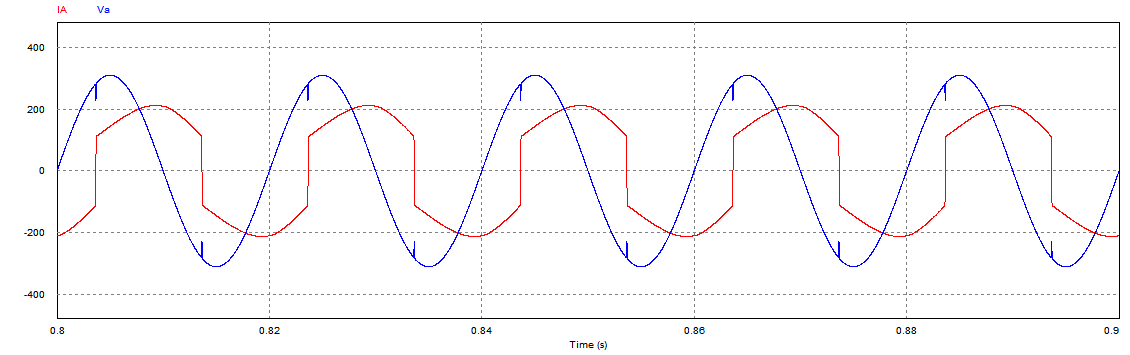
  
Figura 1-4: Formas de onda Fase ‘A’ Sistema N°1

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

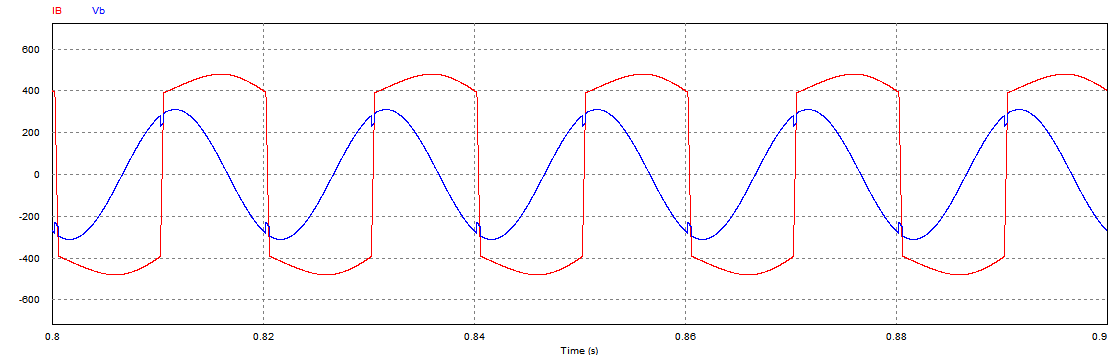
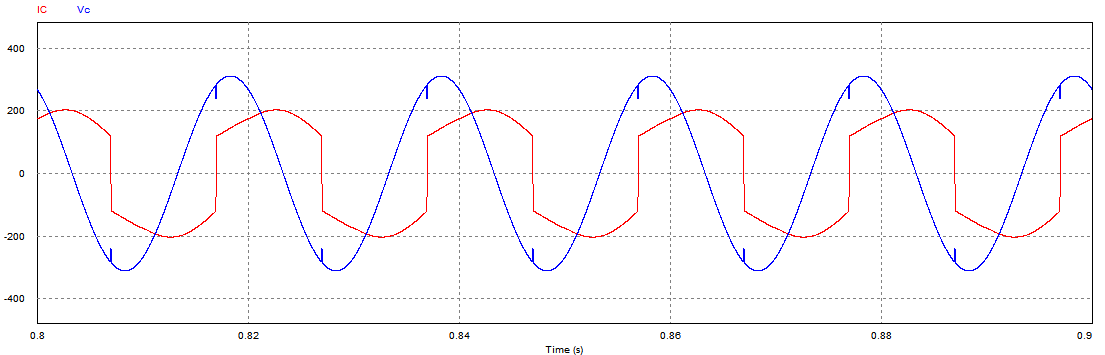


Figura 1-6: Formas de onda Fase ‘C’ Sistema N°1



Como se puede apreciar en estas formas de onda, lo notches de tensión se producen en los ‘saltos de la corriente’ y la teoría nos indica que son producidos por el efecto de las inductancias de conmutación.

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.

En el Apéndice A, se encuentran las tablas de armónicos (magnitud y ángulo de tensión y corriente) obtenidas de la transformada rápida de Fourier para cada una de las fases del sistema, en ellas podemos apreciar que las armónicas pares presentan una magnitud muy pequeña cercana a cero, esto se debe a que las formas de onda resultantes cumplen en gran medida con la llamada simetría de media onda. Lo cual se muestra a continuación en las Figuras 1-7 y 1-8 en las cuales podemos observar el espectro monolateral para las corrientes y tensiones en el PCC respectivamente.

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

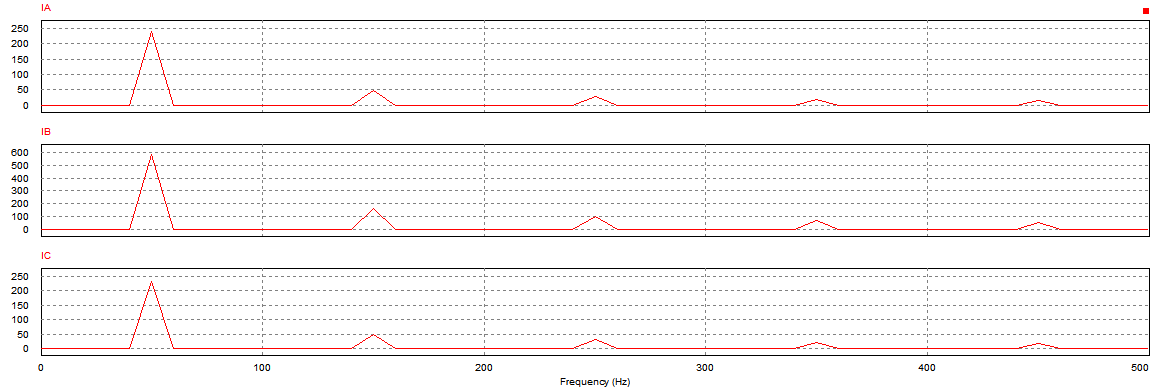
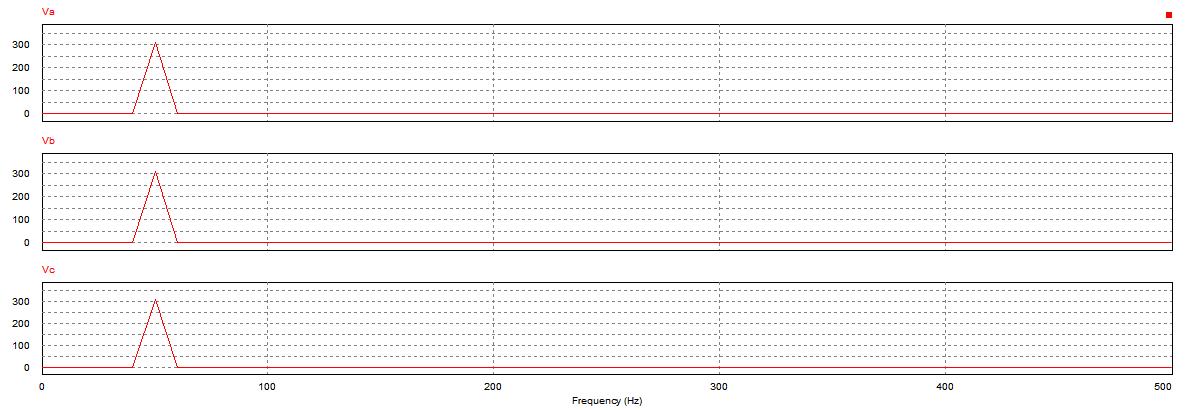


Figura 1-8: Espectro monolateral de tensiones PCC Sistema N°1



El espectro de corrientes de la Figura 1-7 muestra claramente el efecto de la simetría de media onda, siendo las armónicas pares imperceptibles. La Figura 1-8 muestra que la tensión en el PCC es casi sinusoidal completamente.

El estudio se centra principalmente en el PCC del sistema, no obstante se considera relevante mostrar la forma de onda circulando por la carga y el neutro, para comprobar que su comportamiento es el esperado (tipo fuente de corriente en la carga).Lo cual se muestra en las Figuras 1-9, 1-10, 1-11 y 1-12.

Figura 1-9: Formas de onda Carga ‘A’ Sistema N°1

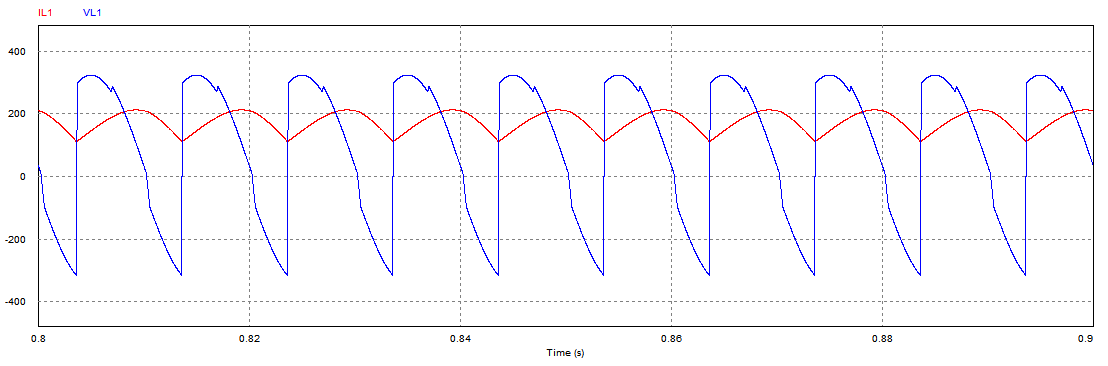


Figura 1-10: Formas de onda Carga ‘B’ Sistema N°1

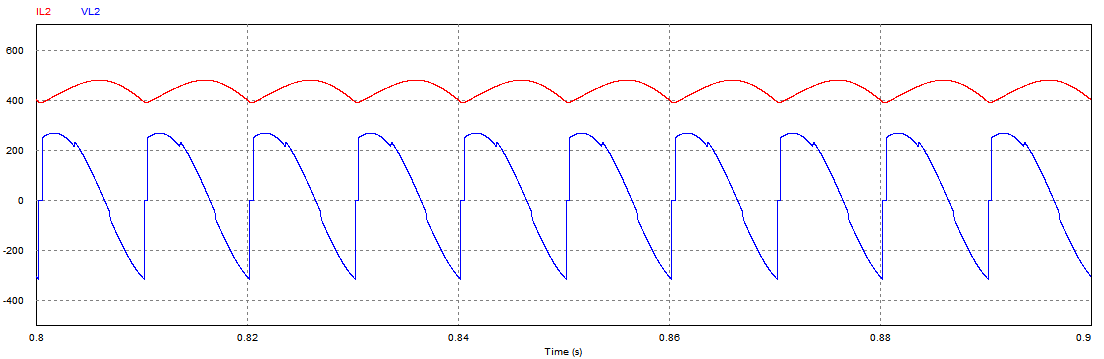
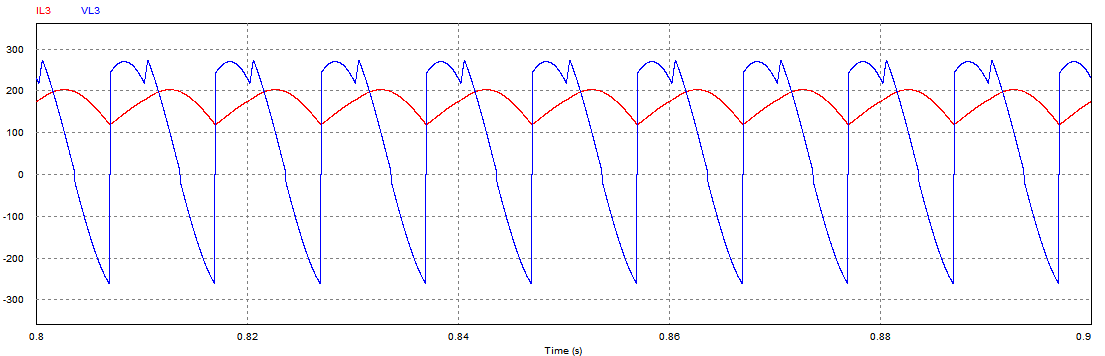
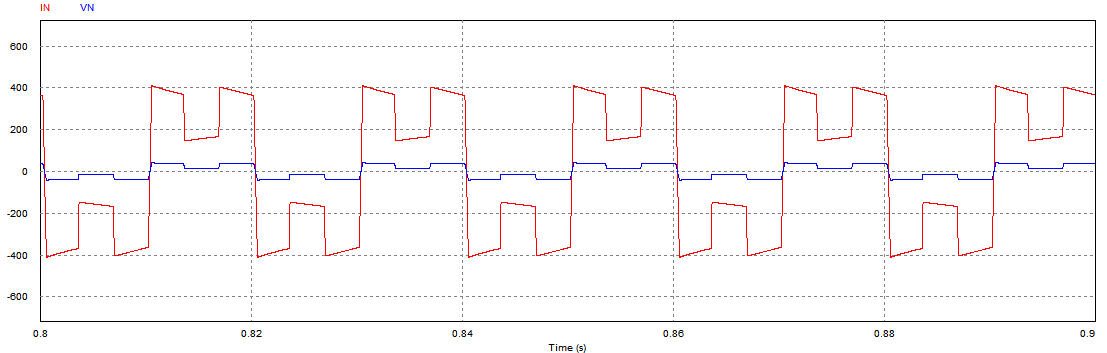


Figura 1-11: Formas de onda Carga ‘C’ Sistema N°1



Las Figuras 1-9, 1-10 y 1-11 dejan en evidencia que la corriente en la carga tiene un valor medio positivo, presentando una ondulación no menor, pero nunca la corriente es negativa. Las formas de onda de tensión presentan una distorsión importante, la cual es resultante de la etapa de puentes de tiristores.

Figura 1-12: Formas de onda Neutro Sistema N°1



Como es de esperarse en un sistema desbalanceado, existe corriente por el neutro. La tensión ‘sigue’ a la corriente, debido a que estamos en presencia de una resistencia en el neutro. Esta corriente presenta gran distorsión armónica.

## Cálculo con los resultados de la simulación

En esta sección se presentarán los cálculos realizados con los datos del Apéndice A, estos datos fueron 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 1-2: Factor desplazamiento Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 0,38143[-] | 0,36883[-] | 0,37512[-] |

### Potencia Aparente Fundamental

### Se calcula con la ecuación:

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

### Tabla 1-3: Potencia Aparente fundamental Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 37351,1[VA] | 89759,3[VA] | 36021,1[VA] |

### Potencia Activa Fundamental

Se calcula como:

Se obtiene como resultado:

Tabla 1-4: Potencia Activa fundamental Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 14246,7[W] | 33105,7[W] | 13512,3[W] |

### Potencia Reactiva Fundamental

Se calcula como:

Los resultados obtenidos:

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 34527,3[Var] | 83431,1[Var] | 33390,7[Var] |

### Potencia Aparenta Total

### Esta se define:

Luego e , vienen dados por:

### Realizando los cálculos:

Tabla 1-6: Potencia Aparente total Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 38749,1[VA] | 96217,8[VA] | 37677,1[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 1-7: Potencia Armónica Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 10314,5[VAH] | 34657,3[VAH] | 11047,3[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 1-8: Factor de Potencia Sistema N°1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fase A | Fase B | Fase C |
| 0,36766[-] | 0,34418[-] | 0,35865[-] |

### Distorsión armónica total THD

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

### Realizando los calculos correspondientes:

### Tabla 1-9: THD tensión y corriente Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THDv | 1,26% | 3,57% | 1,40% |
| THDi | 27,58% | 38,4% | 30,63% |

### 

### Profundidad de los Notches

### asdasd

### Área de los Notches

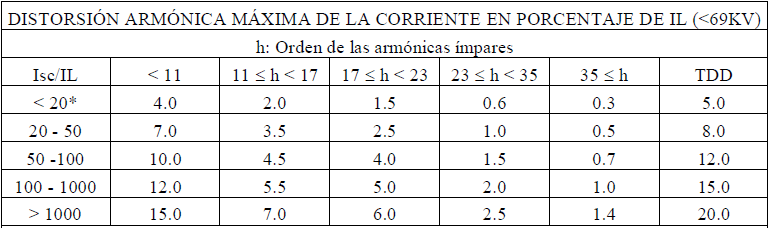
### Asdasdasd

## 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 muy bajos respecto a la norma, por lo cual el Sistema N°1 no cumple con la norma de Factor de Potencia.

La norma respecto a las componentes armónicas de corriente se muestra en la siguiente Figura

Figura 1-X: 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-Y: Razones Isc/IL del Sistema N°1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Isc/IL | 205,3[-] | 84,86[-] | 212,9[-] |

### Ahora con esta información podemos usar la tabla para evaluar las armónicas impares de corriente. Tanto la Fase A y C caen en la categoría de 100-1000 y la Fase B en la categoría 50-100.

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

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Ia | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Ia | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 2,12 | 2 | NO |
| 3 | 19,55 | 12 | NO | 29 | 1,96 | 2 | SI |
| 5 | 11,53 | 12 | SI | 31 | 1,83 | 2 | SI |
| 7 | 8,41 | 12 | SI | 33 | 1,71 | 2 | SI |
| 9 | 6,51 | 12 | SI | 35 | 1,60 | 1 | NO |
| 11 | 5,27 | 5,5 | SI | 37 | 1,51 | 1 | NO |
| 13 | 4,49 | 5,5 | SI | 39 | 1,43 | 1 | NO |
| 15 | 3,89 | 5,5 | SI | 41 | 1,35 | 1 | NO |
| 17 | 3,40 | 5 | SI | 43 | 1,28 | 1 | NO |
| 19 | 3,04 | 5 | SI | 45 | 1,22 | 1 | NO |
| 21 | 2,75 | 5 | SI | 47 | 1,16 | 1 | NO |
| 23 | 2,49 | 2 | NO | 49 | 1,10 | 1 | NO |
| 25 | 2,29 | 2 | NO | - | - | - | - |

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

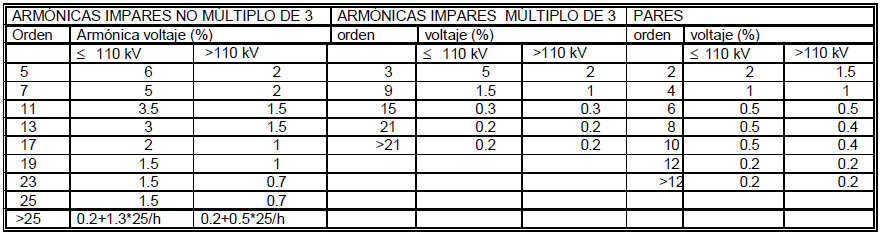
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Ib | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Ib | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 2,19 | 1,5 | NO |
| 3 | 27,99 | 10 | NO | 29 | 1,93 | 1,5 | NO |
| 5 | 16,70 | 10 | NO | 31 | 1,69 | 1,5 | NO |
| 7 | 11,80 | 10 | NO | 33 | 1,47 | 1,5 | SI |
| 9 | 9,03 | 10 | SI | 35 | 1,28 | 0,7 | NO |
| 11 | 7,26 | 4,5 | NO | 37 | 1,11 | 0,7 | NO |
| 13 | 6,01 | 4,5 | NO | 39 | 0,96 | 0,7 | NO |
| 15 | 5,07 | 4,5 | NO | 41 | 0,82 | 0,7 | NO |
| 17 | 4,34 | 4 | NO | 43 | 0,69 | 0,7 | SI |
| 19 | 3,75 | 4 | SI | 45 | 0,58 | 0,7 | SI |
| 21 | 3,26 | 4 | SI | 47 | 0,47 | 0,7 | SI |
| 23 | 2,85 | 1,5 | NO | 49 | 0,38 | 0,7 | SI |
| 25 | 2,51 | 1,5 | NO | - | - | - | - |

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Ic | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Ic | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 2,32 | 2 | NO |
| 3 | 21,67 | 12 | NO | 29 | 2,14 | 2 | NO |
| 5 | 13,12 | 12 | NO | 31 | 1,98 | 2 | SI |
| 7 | 9,17 | 12 | SI | 33 | 1,86 | 2 | SI |
| 9 | 7,21 | 12 | SI | 35 | 1,73 | 1 | NO |
| 11 | 5,89 | 5,5 | NO | 37 | 1,63 | 1 | NO |
| 13 | 4,93 | 5,5 | SI | 39 | 1,53 | 1 | NO |
| 15 | 4,29 | 5,5 | SI | 41 | 1,44 | 1 | NO |
| 17 | 3,77 | 5 | SI | 43 | 1,36 | 1 | NO |
| 19 | 3,34 | 5 | SI | 45 | 1,29 | 1 | NO |
| 21 | 3,03 | 5 | SI | 47 | 1,22 | 1 | NO |
| 23 | 2,74 | 2 | NO | 49 | 1,16 | 1 | NO |
| 25 | 2,51 | 2 | NO | - | - | - | - |

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

Figura 1-X: 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-Y: Evaluación de la norma de tensión Fase A Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Va | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Va | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 0,259 | 0,2 | NO |
| 3 | 0,264 | 5 | SI | 29 | 0,256 | 1,321 | SI |
| 5 | 0,260 | 6 | SI | 31 | 0,256 | 1,248 | SI |
| 7 | 0,261 | 5 | SI | 33 | 0,255 | 0,2 | NO |
| 9 | 0,265 | 1,5 | SI | 35 | 0,253 | 1,129 | SI |
| 11 | 0,260 | 3,5 | SI | 37 | 0,253 | 1,078 | SI |
| 13 | 0,261 | 3 | SI | 39 | 0,252 | 0,2 | NO |
| 15 | 0,263 | 0,3 | SI | 41 | 0,251 | 0,993 | SI |
| 17 | 0,259 | 2 | SI | 43 | 0,250 | 0,956 | SI |
| 19 | 0,260 | 1,5 | SI | 45 | 0,248 | 0,2 | NO |
| 21 | 0,261 | 0,2 | NO | 47 | 0,247 | 0,891 | SI |
| 23 | 0,257 | 1,5 | SI | 49 | 0,246 | 0,863 | SI |
| 25 | 0,258 | 1,5 | SI | - | - | - | - |

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Vb | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Vb | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 0,708 | 0,2 | NO |
| 3 | 0,997 | 5 | SI | 29 | 0,669 | 1,321 | SI |
| 5 | 0,993 | 6 | SI | 31 | 0,627 | 1,248 | SI |
| 7 | 0,983 | 5 | SI | 33 | 0,583 | 0,2 | NO |
| 9 | 0,968 | 1,5 | SI | 35 | 0,539 | 1,129 | SI |
| 11 | 0,952 | 3,5 | SI | 37 | 0,495 | 1,078 | SI |
| 13 | 0,931 | 3 | SI | 39 | 0,449 | 0,2 | NO |
| 15 | 0,907 | 0,3 | NO | 41 | 0,404 | 0,993 | SI |
| 17 | 0,881 | 2 | SI | 43 | 0,359 | 0,956 | SI |
| 19 | 0,851 | 1,5 | SI | 45 | 0,314 | 0,2 | NO |
| 21 | 0,818 | 0,2 | NO | 47 | 0,270 | 0,891 | SI |
| 23 | 0,785 | 1,5 | SI | 49 | 0,227 | 0,863 | SI |
| 25 | 0,748 | 1,5 | SI | - | - | - | - |

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Orden Armónico | %Vc | %norma | ¿cumple? | Orden Armónico | %Vc | %norma | ¿cumple? |
| 1 | 100 | - | - | 27 | 0,288 | 0,2 | NO |
| 3 | 0,300 | 5 | SI | 29 | 0,286 | 1,321 | SI |
| 5 | 0,303 | 6 | SI | 31 | 0,284 | 1,248 | SI |
| 7 | 0,294 | 5 | SI | 33 | 0,283 | 0,2 | NO |
| 9 | 0,297 | 1,5 | SI | 35 | 0,280 | 1,129 | SI |
| 11 | 0,299 | 3,5 | SI | 37 | 0,278 | 1,078 | SI |
| 13 | 0,294 | 3 | SI | 39 | 0,277 | 0,2 | NO |
| 15 | 0,295 | 0,3 | SI | 41 | 0,273 | 0,993 | SI |
| 17 | 0,295 | 2 | SI | 43 | 0,271 | 0,956 | SI |
| 19 | 0,293 | 1,5 | SI | 45 | 0,269 | 0,2 | NO |
| 21 | 0,292 | 0,2 | NO | 47 | 0,266 | 0,891 | SI |
| 23 | 0,291 | 1,5 | SI | 49 | 0,264 | 0,863 | SI |
| 25 | 0,289 | 1,5 | SI | - | - | - | - |

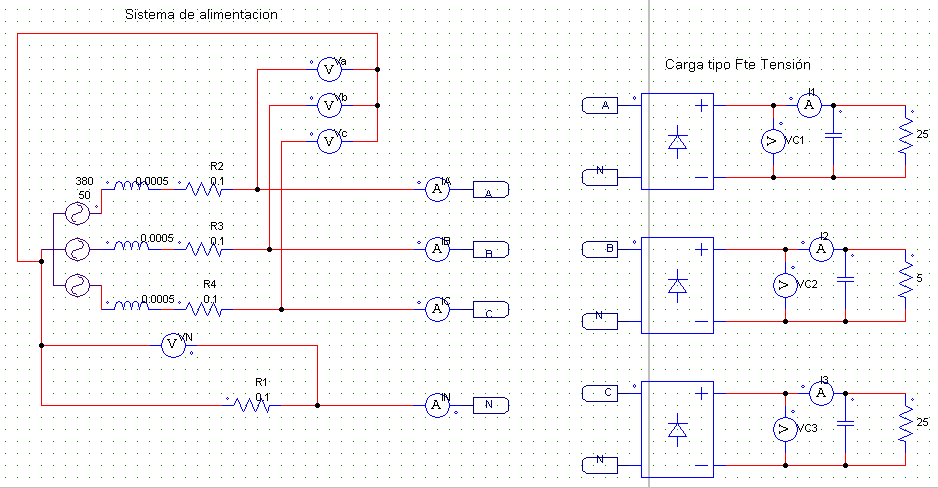
# Sistema N°2

El segundo sistema con frecuencia fundamental 50[Hz], tiene una carga con comportamiento tipo fuente de tensión.

## Simular el Sistema

Al igual que para el Sistema N°1, se realizará la simulación en PSIM y se usará la TFF para obtener las corrientes y tensiones en el PCC con sus ángulos correspondientes. A continuación en la Figura 2-1 se presenta el sistema en el software de simulación.

Figura 2-1: Simulación Sistema N°2



Nuevamente estamos en presencia de un sistema trifásico desbalanceado.

Al igual que en el Sistema 1 las fases A y C presentan los mismos elementos, por lo cual se espera que los resultados a obtener de estas fases, difieran muy poco.

La carga está compuesta por tres unidades monofásicas puentes de diodos, que cumplen función de rectificadores y están conectados a una carga tipo RC paralelo, la capacitancia provoca un efecto de mantener la tensión, resultando en una ondulación de tensión que tiene valor medio positivo.

En la Tabla 2-1 se presentan los detalles de los parámetros que componen el sistema.

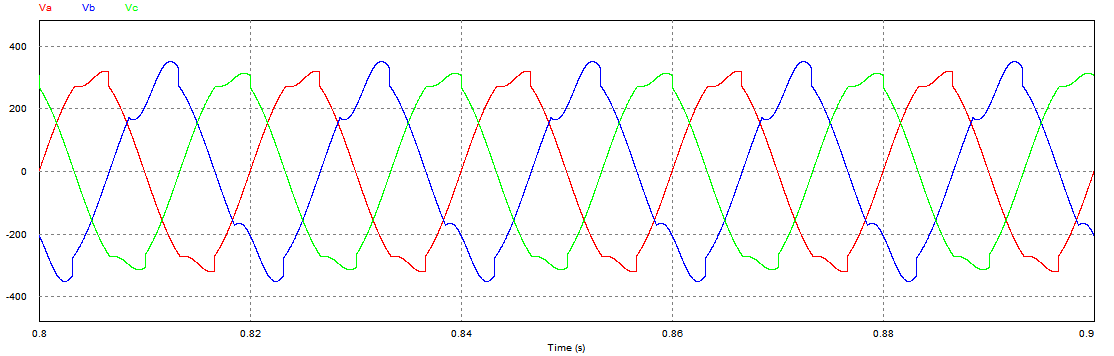
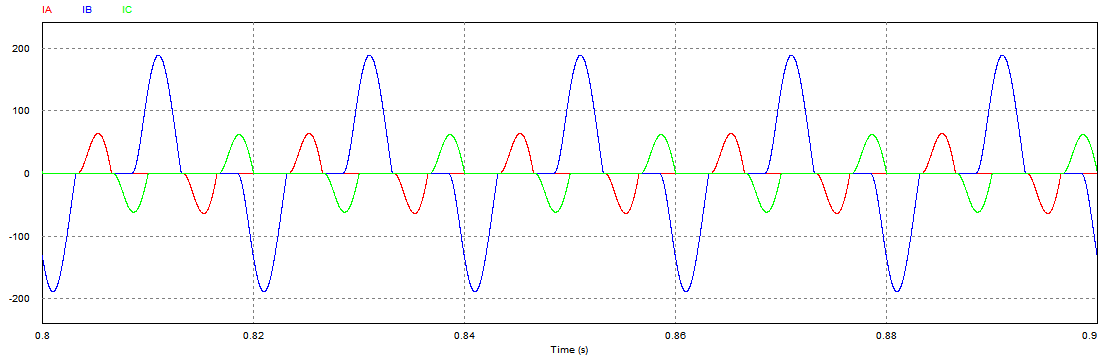
Tabla 2-1: Detalle de parámetros del Sistema N°1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fase | Fasor (peak) Alimentación [V] | Resistencia Alimentador [Ohm] | Inductancia Alimentador H] | Carga parte Resistiva [Ohm] | Carga parte Capacitiva [F] |
| A | 311|0° | 0.1 | 500 | 25 | 1700 |
| B | 311|-120° | 0.1 | 500 | 5 | 1700 |
| C | 311|120° | 0.1 | 500 | 25 | 1700 |
| Neutro | - | 0.1 | - | - | - |

### Formas de onda y análisis armónico

El análisis se centra principalmente en el PCC, en las Figuras 2-2 y 2-3 se presentan las formas de onda de corriente y tensión respectivamente.

Figura 2-2: Corrientes en el PCC sistema N°2  
  
  
Figura 2-3: Tensiones en el PCC sistema N°2

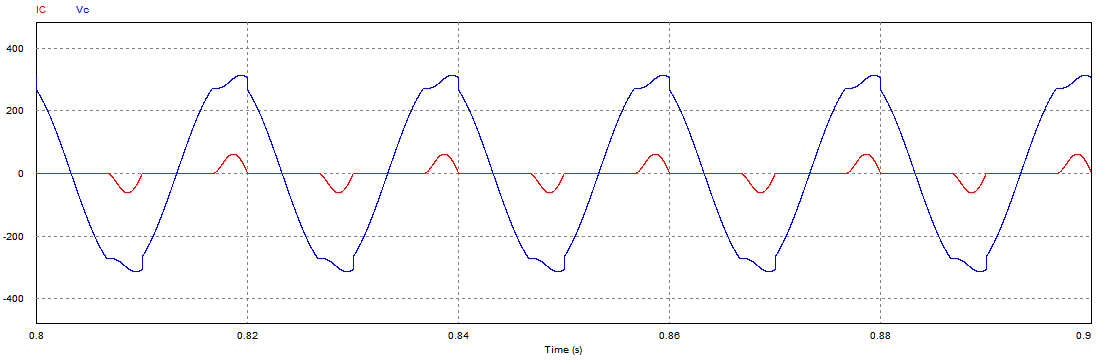
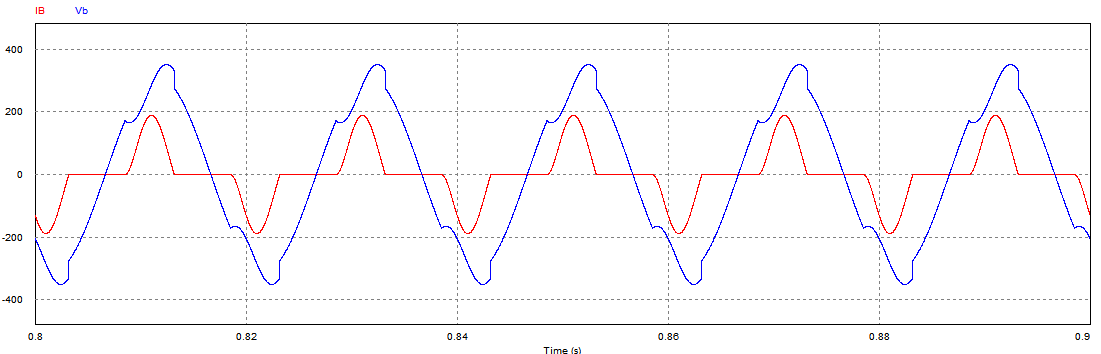
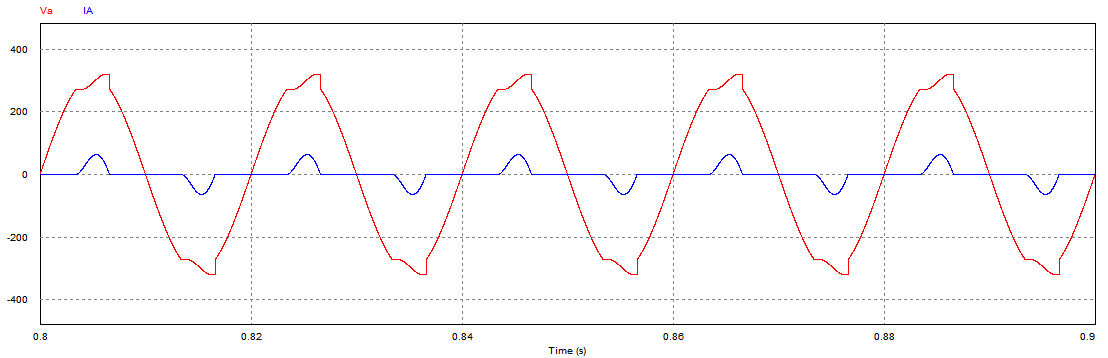


Como se puede observar en la Figura 2-2 las corrientes presentan un formato de onda pulsado, estos pulsos actúan a simple vista sincronizados con sus respectivas tensiones. Se puede observar claramente que la magnitud de corriente de la Fase B es mayor a la de las Fases A y C, esto se atribuye al hecho de que posee una resistencia de menor valor en la carga.

Luego en la Figura 2-3 se puede observar que las tensiones no presentan mayor diferencia de amplitud entre las fases. Además, las formas de ondas parecen ser bastante sinusoidales exceptuando cuando se acercan a sus valores peak, que se ve cómo se deforman, esta deformación ocurre de forma sincronizada con la aparición de los pulsos de corriente. Por último la deformación de tensión de la fase B, es notoriamente mayor.

En las Figuras 2-4, 2-5 y 2-6 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 2-4: Formas de onda Fase A Sistema N°2  
  
  
  
Figura 2-5: Formas de onda Fase B Sistema N°2  
  
  
Figura 2-6: Formas de onda Fase C Sistema N°2



Como se puede apreciar en estas formas de onda, las deformaciones de tensión se producen cuando la corriente pulsa, esto se debe a que la corriente provoca una caída de tensión en la impedancia del alimentador que se ve reflejada en la tensión del PCC.

Se espera que el contenido armónico asociado a la corriente sea mucho mayor que el de la tensión.

En el Apéndice B, se encuentran las tablas de armónicos (magnitud y ángulo de tensión y corriente) obtenidas de la TFF para cada una de las fases del sistema, en ellas se puede ver que las magnitudes de orden par son prácticamente cero, esto se debe a que las formas de onda cumplen en gran parte la simetría de media onda.

En las Figuras 2-7 y 2-8 podemos observar los espectros monolateral para las corrientes y tensiones en el PCC respectivamente.

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

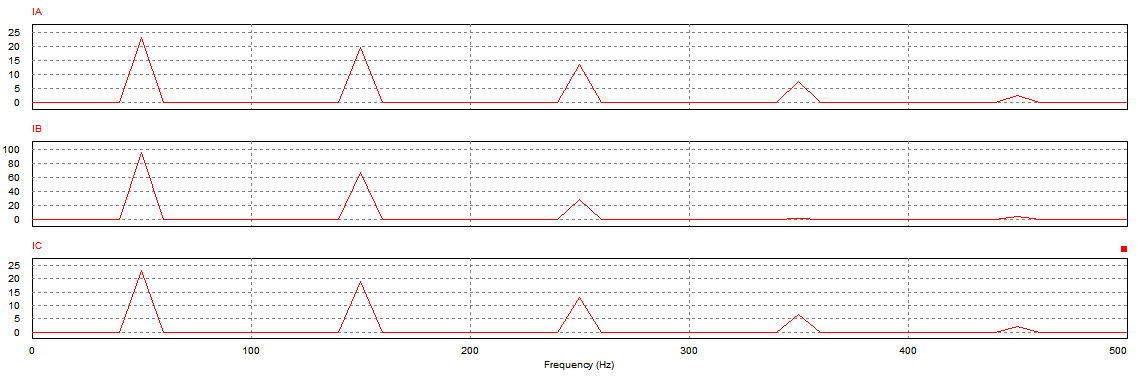
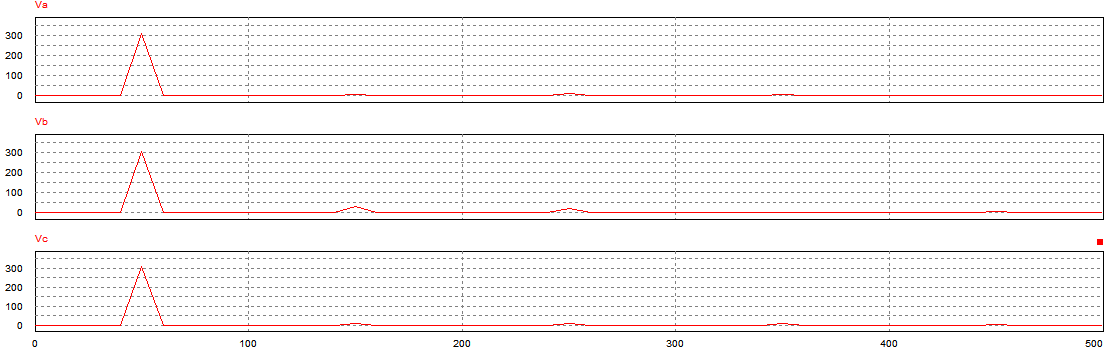


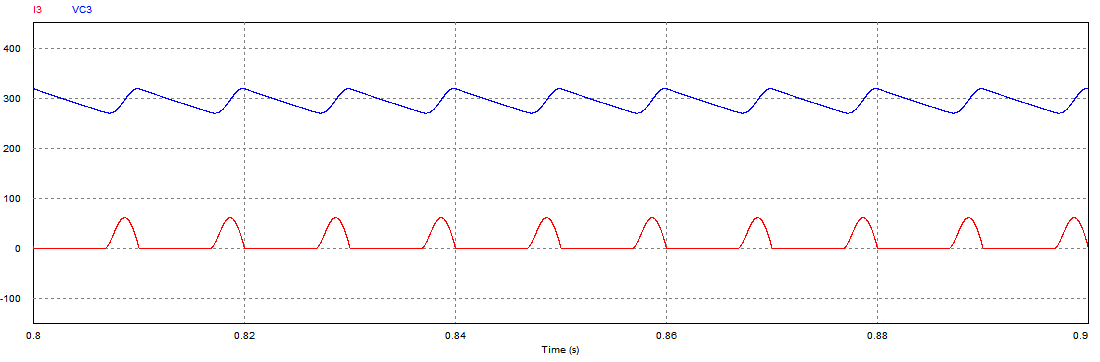
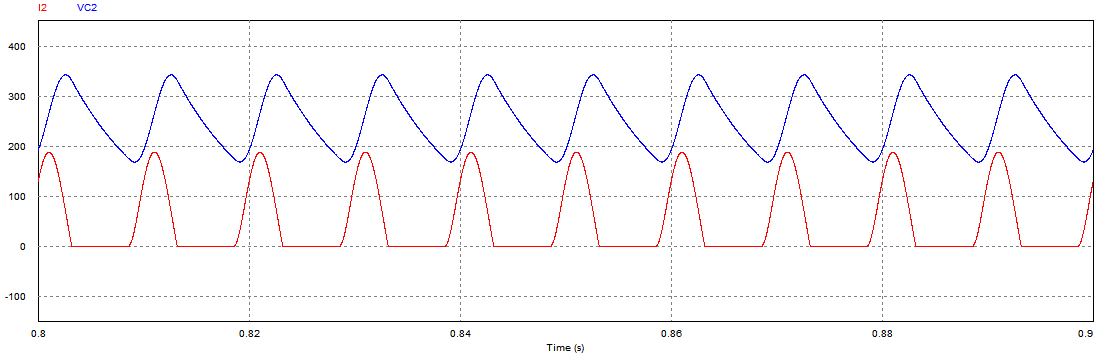
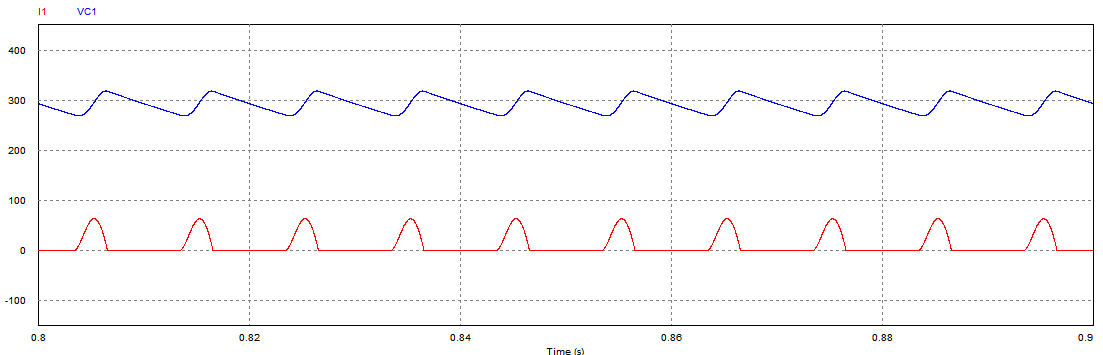
Figura 2-8: Espectro monolateral de tensiones en el PCC Sistema N°2



En ambos espectros se puede apreciar que por efecto de la simetría de media onda, las armónicas de orden par son imperceptibles. En la Figura 2-7 se ve que la fase B tiene menos distorsión de corriente que las fases A y C. Por otro lado en la Figura 2-8 la fase B tiene mayor distorsión de tensión que las fases A y C.

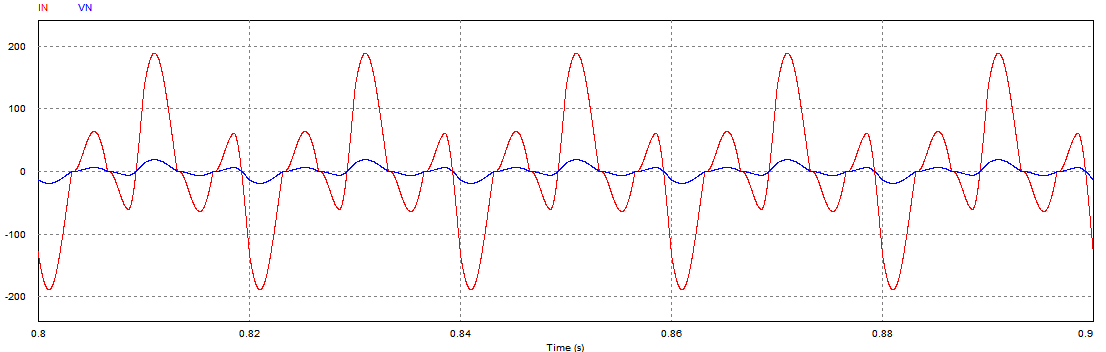
Es de importancia visualizar las formas de onda de la carga y el neutro. En las Figuras 2-9, 2-10, 2-11, y 2-12 se muestran estas formas de onda.

Figura 2-9: Formas de onda Carga A Sistema N°2  
  
  
Figura 2-10: Formas de onda Carga B Sistema N°2  
  
  
Figura 2-11: Formas de onda Carga C Sistema N°2



Las Figuras 2-9, 2-10 y 2-11 dejan en evidencia cómo la presencia del capacitor provoca una ondulación de tensión en torno al valor medio de tensión. Es relevante agregar que la ondulación que presenta la carga de la fase B es muy superior a la de las fases A y C. De las corrientes podemos ver su formato pulsado rectificado que resulta del puente de diodos. Como última observación se puede ver cómo coincide el pulso de corriente con la subida de tensión en la ondulación de la carga.

Figura 2-12: Formas de onda Carga C Sistema N°2



En la Figura 2-12, se puede ver como el sistema N°2 presenta corriente neutro de elevada distorsión armónica, que además alcanza gran amplitud. La tensión en el neutro no es nada más que el efecto de la corriente al circular por la resistencia del neutro, por tanto se ve como ambas están en fase.

## Cálculo con los resultados de la simulación

Se presentarán los cálculos realizados con los datos del Apéndice B. 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 |
| 0,99836[-] | 0,96787[-] | 0,99696 [-] |

### 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 |
| 3529,4 [VA] | 14569,6 [VA] | 3540,1[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 |
| 3523,6[W] | 14101,5 [W] | 3529,3 [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 |
| 202,1 [Var] | -3663,5 [Var] | 275,5 [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 |
| 5236,3 [VA] | 18461,9 [VA] | 5166,9 [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 |
| 3868,2 [VAH] | 11338,9[VAH] | 3763,6 [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 |
| 0,66690[-] | 0,74947[-] | 0,67737[-] |

### 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 | 5,81% | 13,34% | 5,47% |
| THDi | 109,26% | 75,99% | 106,01% |

### Ondulación de Carga

ASDasdasd

Asdasd

## Evaluación según norma Chilena

# Discusión y conclusiones

Las conclusiones finales del trabajo no se consideran como capítulos del texto, sin embargo ellas son obligatorias para la estructura general del informe de proyecto e independientes de aquellas qu

###### Un apéndice

Recuerde que en los apéndices debe utilizar los estilos desde “Título 6” a “Título 9”, para generar sus

###### Otro apéndice

Este apéndice solo fue agregado para mostrar que la página horizontal agregada en la página anterior no debe romper las cabeceras y pie de páginas de los capítulos o apéndices que le siguen. Si sucede que se perdió la cabecera y el pie de página deberá recrearlos copiándolos directamente, esto es, agregar la imagen de fondo en la cabecera (imagen ploma que acompaña al título), y el número de página, y en las siguientes páginas agregar el título del capítulo o apéndice y el número de página. Es posible que deba jugar con el botón “enlazar al anterior” del menú “Diseño”, cuando se encuentra modificando el pie de página o la cabecera.