



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

# **ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN ARMÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO**

**AUTORES**

**Cristián Valenzuela V.**  
**Rodolfo Vidal A.**

**SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD**

**CONCEPCIÓN - CHILE**  
**2010**



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

# **ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN ARMÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO**

**AUTORES**

**Cristián Valenzuela V.**  
**Rodolfo Vidal A.**

**PROFESORES GUÍA Y CORRECTOR**

**Vladimir Esparza H.**  
**Luis Ahumada S.**

En este momento culmine de mi educación quisiera agradecer al Dios vivo Jehová יהוה por darme fortaleza espiritual y guiar los corazones de quienes me rodearon para poder superar los obstáculos y alcanzar la meta de la edificación educacional.

Mi familia también tiene un lugar en mi trabajo universitario. A mi Padre Waldo Vidal que en todo momento me entrego apoyo para mi carrera de Ingeniero Eléctrico. A mi Madre y Abuela Felicinda Vidal que su constante preocupación y amor incondicional me ayudaron a formarme como persona profesional y humana.

Por último agradezco a las personas ligadas a la Universidad del Bío – Bío, Personal Administrativo, Profesores y Compañeros que son de gran ayuda para avanzar en la Universidad.

**Rodolfo Jesús Vidal Alarcón**

En primer lugar agradezco a dios, por haberme permitido educarme y a mis padres quienes se esforzaron para darme el mejor regalo que un hijo puede recibir.

Agradezco a los profesores que me brindaron las herramientas para poder formarme como profesional y en especial a don Luis Muñoz, Vladimir Esparza, Luis Ahumada, Raúl Vera. Quienes me entregaron grandes enseñanzas como profesionales.

También agradezco a todos mis compañeros, quienes de alguna forma u otra me ayudaron, en las distintas materias y a todos aquellos que colaboran e hicieron posible mi seminario de titulación.

Por último agradezco a mi compañero de seminario, Rodolfo Vidal Alarcón, por todo su aporte entregado durante el desenlace de este seminario, el cual fue de gran ayuda para conseguir nuestra meta.

**Cristian Alejandro Valenzuela Valenzuela.**

# ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
<b>ÍNDICE</b> .....	01
<b>RESUMEN</b> .....	04
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	05
<b>1. CAPÍTULO I “CORRIENTES ARMÓNICAS”</b> .....	06
<b>1.1 CONCEPTOS TÉCNICOS</b> .....	07
1.1.1 Calidad de Energía Eléctrica .....	08
1.1.2 Deformaciones de Onda .....	09
1.1.3 Series de Fourier .....	10
1.1.4 Armónicos .....	11
1.1.5 Secuencia de las Armónicas .....	12
1.1.6 Espectro Armónico .....	13
1.1.7 Factores de Distorsión .....	14
1.1.8 Definición del Punto Común PCC (IEEE – 519) .....	15
<b>1.2 TIPOS DE CARGAS</b> .....	16
1.2.1 Cargas Lineales .....	16
1.2.2 Cargas no Lineales .....	17
<b>1.3 ORIGEN Y EFECTO DE LAS PERTURBACIONES ARMÓNICAS</b> .....	18
1.3.1 Rectificación Monofásica .....	18
1.3.2 Rectificación Trifásica .....	18
1.3.3 Instalación de Condensadores .....	19
1.3.4 Transformadores de Poder .....	20
1.3.5 Conductores .....	21
<b>1.4 NORMAS Y RECOMENDACIONES</b> .....	22
1.4.1 Ley General de Servicios Eléctricos (DS 327 – 1998) .....	22
1.4.2 Estándar IEEE 519 - 1992 .....	23
<b>1.5 ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS</b> .....	24

<b>2. CAPÍTULO II “SISTEMA ELÉCTRICO UBB”</b> .....	25
2.1 SUBESTACIONES .....	26
2.1.1 Potencia de Subestaciones .....	26
2.1.2 Ubicación de Subestaciones .....	27
2.1.3 Características de las cargas .....	28
2.2 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN PUNTO COMÚN PCC .....	29
2.2.1 Cálculos de Valores Base en Zonas Eléctricas .....	29
2.2.2 Cálculo de Impedancia Equivalente ZTH .....	31
2.2.3 Cálculo de Impedancia en líneas ZL1 .....	32
2.2.4 Cálculo de Impedancia en Transformadores ZT .....	33
2.2.5 Cálculo de Impedancia en Conductores ZL2 .....	34
2.2.6 Cálculo de Corriente de Cortocircuito en PCC .....	35
<b>3. CAPÍTULO III “EQUIPO DE MEDICIÓN Y SOFTWARE”</b> .....	36
3.1 POWER XPLOER PX5 .....	37
3.1.1 Descripción del Equipo .....	38
3.1.2 Programación del Equipo .....	41
3.2 DRAN VIEW 6.0 .....	56
3.2.1 Menú Principal .....	57
3.2.2 Ventanas Emergentes .....	59
<b>4. CAPÍTULO IV “MEDICIONES Y ANÁLISIS NORMATIVO”</b> .....	61
4.1 MEDICIONES .....	62
4.1.1 Aspectos Generales .....	62
4.1.2 Configuración del Equipo de Medición .....	63
4.1.3 Variables Registradas .....	64
4.2 MEDICIONES POR FASE .....	65
4.2.1 Rango de Corrientes y Voltajes por fase .....	65
4.2.2 Rango de Potencia Activa .....	66
4.2.3 Índices de Distorsión Armónica THD de Corriente y Voltaje .....	67
4.2.4 Formas de Onda .....	68

4.2.5 Armónicas Individuales de Corriente .....	69
4.2.6 Espectro Armónico de Corriente .....	71
4.2.7 Espectro Armónico de Voltaje .....	74
4.3 MEDICIONES EN NEUTRO .....	77
4.3.1 Rango de Corrientes y Voltajes en Neutro .....	77
4.3.2 Índices de Distorsión Armónica THD de Corriente y Voltaje .....	77
4.3.3 Armónicas Individuales de Corriente .....	78
4.3.4 Formas de Onda .....	79
4.3.5 Espectro Armónico de Corriente .....	79
4.4 ANÁLISIS NORMATIVO .....	80
4.4.1 Corriente de Carga IL .....	80
4.4.2 Resumen Factura 1 .....	81
4.4.3 Resumen Factura 2 .....	81
4.4.4 Contenido Armónico de Corriente según Normativa .....	82
4.4.5 Contenido Armónico de Voltaje según Normativa ( $\leq$ a 110 kV) .....	83
4.4.6 Carga Máxima Tolerada en punto Pcc .....	83
<b>5. CAPÍTULO V “POSIBLES SOLUCIONES DE MITIGACIÓN” .....</b>	<b>84</b>
5.1 Descripción de los Filtros .....	85
5.1.1 Filtros Pasivos .....	85
5.1.2 Filtros Activos .....	85
5.1.3 Filtros Híbridos .....	85
5.2 Propuestas para Empalme 2 .....	86
5.3 Frecuencias de Resonancia en Empalme 2 .....	88
<b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## RESUMEN

El estudio de contaminación armónica que se presenta fue realizado en las redes eléctricas de la Universidad del Bío - Bío, Campus Concepción. Las redes constan de 2 empalmes conectados a una línea de 15 kV y 8 transformadores alimentando principalmente cargas de iluminación e informáticas.

Para realizar las mediciones se utilizó el analizador industrial marca «Dranetz», POWER XPLORER PX5 y el software DRAN VIEW 6.0. Las mediciones se realizaron desde el 31 de Agosto al 9 de Septiembre del 2009 en un período de 8 horas continuas por Subestación, comprendidas entre las 09:00 a 17:00 horas. Este período de mediciones es sólo una aproximación a los niveles reales de polución armónica que deberían realizarse según la Norma Chilena, pero este estudio en cuanto a su comprensión y cuantificación no es afectado por el periodo de mediciones adoptado.

Los resultados de las mediciones son comparados con normas y estándares, que entregan límites de contaminación armónica máxima en el punto común de conexión PCC. En este punto se visualizan los niveles reales de polución armónica del sistema eléctrico de la Universidad y se comparan con la Norma vigente. De acuerdo a lo realizado en este trabajo se observa que existen puntos que exceden la Norma, situación que pudiera afectar el normal funcionamiento de otras cargas conectadas a la instalación.

Finalmente, según los análisis de las mediciones y encontrando que existen niveles de contaminación armónica fuera de la normativa se entregan las posibles propuestas para su mitigación, tendiendo a buscar una solución permanente del problema.

## INTRODUCCIÓN

El Presente trabajo de estudio de contaminación armónica tiene por finalidad determinar los niveles de contaminación armónica en las redes eléctricas de la Universidad del Bío – Bío. El sistema eléctrico de la Universidad consta de dos empalmes que alimentan 8 transformadores. Para el estudio son analizados sólo 7 transformadores por posible polución armónica.

La Universidad ha tenido un gran avance en su crecimiento, por lo que se debe realizar un nuevo levantamiento de sus redes eléctricas existentes, además de tener en consideración la existencia de cargas principalmente de iluminación e informática. Con lo anterior es posible focalizar los puntos críticos de contaminación armónica, en donde se realizarán las mediciones.

Las mediciones correspondientes en los puntos críticos establecen el nivel real de contaminación armónica emitida por las cargas no lineales conectadas. Además nos entregan información cuantitativa que permite poder analizar y discernir un criterio con base a la normativa vigente. Así es factible poder encontrar las posibles soluciones de mitigación en los puntos críticos en donde la emisión sobrepase la normativa.

Las soluciones de mitigación se establecen en base al conflicto que generen las emisiones armónicas de las cargas no lineales con otras cargas conectadas al sistema. Este estudio se basa en las emisiones que sobrepasan la normativa «DS 327 - 1998» y se entregan valores económicos de los filtros implementados.

# CAPÍTULO I

## CORRIENTES ARMÓNICAS

# 1 CORRIENTES ARMÓNICAS

## 1.1 CONCEPTOS TÉCNICOS

El ideal en la Calidad de Suministro Eléctrico implica disponer en forma permanente de una forma de onda senoidal, con amplitud y frecuencia fija. Pero el aumento en el uso de dispositivos electrónicos, principalmente la llamada «rectificación monofásica», que es emitida por aparatos de baja potencia como son los computadores, artefactos domésticos, iluminación y otros aparatos, deforman la onda sinusoidal de corriente.

Todos estos artefactos «no lineales» generan perturbaciones armónicas de orden típico y frecuencia múltiplo de la fundamental que afectan el funcionamiento normal de otras cargas provocándoles calentamiento excesivo, pérdidas adicionales de energía y aislamiento.

Para el análisis de estas ondas deformadas se requiere del uso matemático para su modelación, el más conocido es el análisis por el **Teorema de Fourier**. Fourier modela matemáticamente la onda deformada por medio de formulas de integración y descompone la onda deformada, así se analiza por separado la suma de señales sinusoidales que causa la onda deformante, en base a una frecuencia fundamental.

Cada señal armónica tiene su orden, frecuencia y secuencia. Estas señales para su análisis se grafican en el Espectro de frecuencia, donde es posible visualizar la armónica dominante.

### 1.1.1 Calidad de Energía Eléctrica

La Energía eléctrica es un producto o un bien de consumo que se produce, transporta y consume, así la empresa suministradora de energía entrega una onda de tensión constante y el consumidor impone una onda de corriente.

La energía eléctrica desde su generación tiene cuatro parámetros que caracterizan la onda de tensión sinusoidal y permiten medir su grado de pureza:

- ▣ Frecuencia
- ▣ Amplitud
- ▣ Forma
- ▣ Simetría

Durante el transporte y distribución de la energía, esta sufre alteraciones a sus valores de origen, lo que afecta el normal funcionamiento de ciertas cargas conectadas a la red. La energía eléctrica como producto que vende la empresa eléctrica debe estar dentro de ciertos límites de voltaje, frecuencia y forma de onda (Ver TABLA 1.1) [8].

TABLA 1.1  
ASPECTOS DE CALIDAD DE ENERGÍA

Como Producto	Como Suministro	Servicio Comercial
Magnitud voltaje constante	Frecuencia de interrupciones	Tarifas claras y sin errores
Desviaciones de frecuencia (problema desde generación)	Duración de interrupciones	Minimizar e informar cortes de energía
Deformaciones de onda (armónicas o perturbaciones)	Número de interrupciones	Reposición oportuna de energía

### 1.1.2 Deformaciones de Onda

Actualmente las tensiones en la mayoría de los sistemas de transmisión presentan una distorsión de onda menor a 1%. Este porcentaje de distorsión de la onda (THDV) se va incrementando a medida que nos acercamos a los consumos pudiendo llegar como máximo a un 4% como nivel normal. Esta distorsión es provocada por corrientes armónicas generadas por algunas cargas conectadas al sistema eléctrico, las cuales al circular por las impedancias del sistema producen caídas de tensión y originándose así una deformación en la tensión (Fig. 1.1).

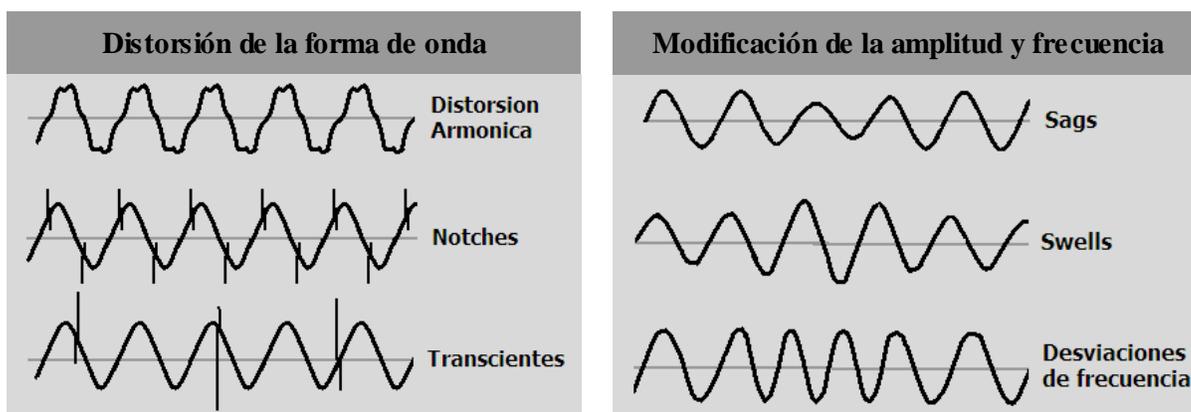


Fig. 1.1: Deformaciones de onda Sinusoidal.

En las ondas de corriente los índices de deformación de la onda (THDI) se incrementa sobre el 10% y pudiendo llegar hasta un 30% como nivel normal dependiendo de la capacidad de absorber perturbaciones en Punto Común PCC.

Las ondas de voltaje en su generación son simétricas y periódicas, en consecuencia por lo general las ondas de corriente mantienen la condición anterior y al ser las que presentan la mayor distorsión, es posible analizarlas por medio de la descomposición en Series de Fourier.

### 1.1.3 Series de Fourier

Las ondas de corriente distorsionadas pueden ser definidas en una forma matemática a través de la Serie de Fourier ya que son ondas periódicas. Este método permite determinar en forma precisa y cuantitativa la distorsión producida por las señales medidas (Fig. 1.2).

La señal medida se descompone en una suma de ondas periódicas (senoidales y cosenoidales) de diferentes frecuencias, referida a un común llamada «frecuencia fundamental». Cada onda descompuesta es un múltiplo de la señal fundamental. Cualquier función periódica y continua puede representarse a través de la suma de señales sinusoidales de distinta amplitud y frecuencia.

Para condiciones de régimen permanente, una función  $i(t)$  periódica, se define por:

$$i(t) = i(t + T), \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \Rightarrow \quad i(\omega t) = i(\omega t + 2\pi)$$

Teorema de Fourier		
$i(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(h\omega t) + b_h \sin(h\omega t)$		
Coeficientes	$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) d\omega t$	Componente continua
	$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos(h\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) \cos(h\omega t) d\omega t$	Componente Armónica
	$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin(h\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) \sin(h\omega t) d\omega t$	

.....(1.1)

El Teorema de Fourier (ec. 1.1), establece que una función periódica sea de voltaje o corriente, se puede escribir mediante un término constante, más una serie finita de términos senoidales y cosenoidales de frecuencia  $(h\omega)$ , donde  $h$  es número entero.

Las ondas de corriente por lo general mantienen la simetría, al ser de media onda el valor medio de la señal es cero. Así en el Teorema de Fourier los coeficientes  $a_0$  y  $a_h$  son cero, lo que resultaría en que los Armónicos Pares son también cero. Estos Armónicos Pares en realidad no son cero, pero son de un valor comparativamente mucho menor que los Armónicos Impares.

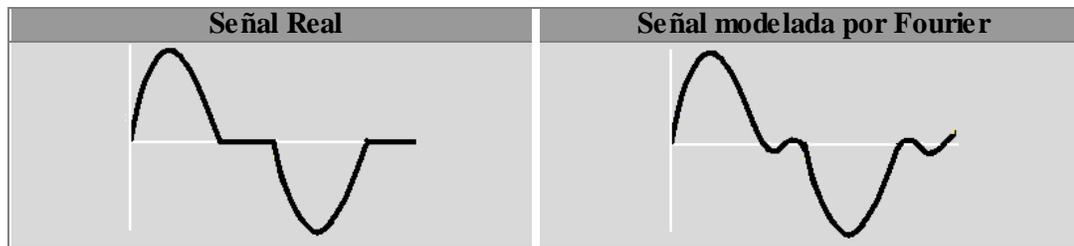


Fig. 1.2: Onda distorsionada conteniendo la fundamental más las armónicas 3 y 5.

### 1.1.4 Armónicos

Los coeficientes que multiplican a las señales senoidales de la serie de Fourier reciben el nombre de armónicos. Las armónicas son ondas de corrientes / voltajes no sinusoidales presentes en un sistema eléctrico a una frecuencia múltiplo de la fundamental. Las armónicas no son una cantidad física (no existen), por lo tanto no pueden medirse, solo se calculan. En instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales se encuentran armónicos por lo general impares. Los armónicos de orden par existen solo cuando no hay simetría en la señal debido a la componente continua (Fig. 1.3).

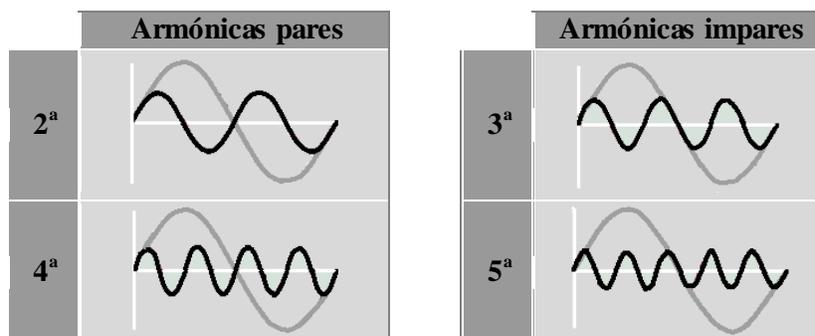


Fig. 1.3: Armónicas Pares e Impares.

### 1.1.5 Secuencia de las armónicas

Para los sistemas trifásicos balanceados, las ondas de corriente / tensión tienen un desfase entre sí de 120°, y su secuencia de fases es positiva.

Los armónicos de cada una de las fases, presentan **ángulos de desfase diferentes** a las formas de onda fundamentales, por lo cual estos pueden presentar diferentes secuencias de fase (Ver TABLA 1.2 y 1.3) [8].

TABLA 1.2  
SECUENCIA DE LOS ARMÓNICOS

Voltaje por Fase		Armónica Generada		Secuencia Generada		Efecto mecánico producido
$V_{a_h} = V_h \angle \varphi_h$	$\Rightarrow$	$h = 3n$	$\Rightarrow$	<b>Secuencia cero</b>	$\Rightarrow$	No giran pero incrementa corriente del neutro
$V_{b_h} = V_h \angle \varphi_h - (120h)$	$\Rightarrow$	$h = 3n + 1$	$\Rightarrow$	<b>Secuencia positiva</b>	$\Rightarrow$	Giran al mismo sentido de la fundamental
$V_{c_h} = V_h \angle \varphi_h + (120h)$	$\Rightarrow$	$h = 3n - 1$	$\Rightarrow$	<b>Secuencia negativa</b>	$\Rightarrow$	Giran al sentido contrario de la fundamental

Sistema trifásico equilibrado, con referencia a la fundamental de la fase a.  
n : n° entero n > 0

TABLA 1.3  
SECUENCIA DE LOS ARMÓNICOS

Orden armónico h	Secuencia de los armónicos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frecuencia [Hz]	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

### 1.1.6 Espectro Armónico

El espectro armónico es la representación de los armónicos individuales como porcentaje del valor fundamental (Fig. 1.4), este valor es importante para el análisis de los diferentes sistemas de distribución y transmisión.

Esta gráfica de armónicos individuales, es una representación del valor del armónico en el dominio de la frecuencia de las formas de ondas que se pueden observar con los distintos instrumentos de medida adecuados. Cada barra representa un armónico y su valor con respecto a la fundamental, pudiendo tener armónicos de orden por lo general impar.

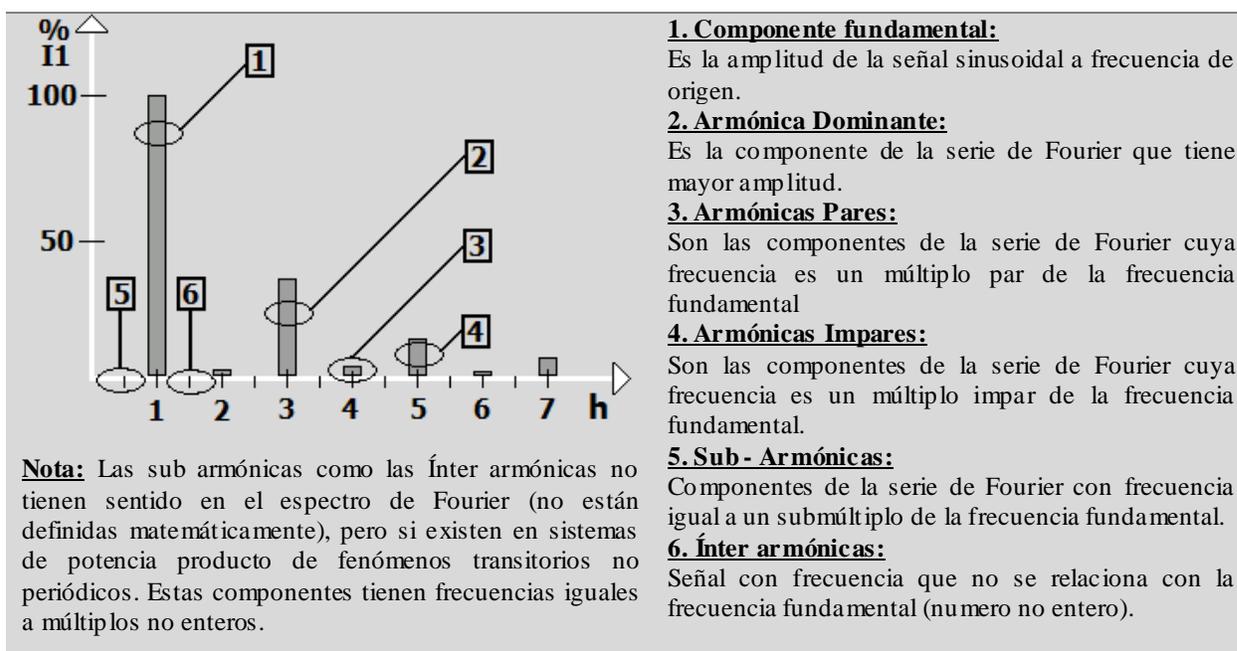


Fig. 1.4: Aspectos del Espectro Armónico

El espectro armónico llega hasta el infinito, sin embargo para su análisis los instrumentos de análisis acotan como valor máximo el armónico de orden 50, ya que por encima de ese orden los armónicos no tienen un valor significativo que pueda perturbar el normal funcionamiento de una instalación eléctrica o de equipos conectados.

### 1.1.7 Factores de Distorsión

El factor de distorsión de un armónico, es la relación entre el valor eficaz real del armónico de una señal (corriente o tensión) y el valor eficaz de la misma señal para frecuencia fundamental. Este valor es un valor concreto para un armónico dado, a continuación se definen las expresiones de distorsión armónica individual, tanto para tensión y corriente [1]:

Distorsión Individual Voltaje	Distorsión Individual Corriente
$D_{Vh} = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100$	$D_{Ih} = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100$

La Distorsión Armónica Total (Total Harmonic Distortion, THD), da una medida del grado de distorsión de la señal. En teoría una señal sinusoidal pura el THD es igual a cero. En cambio, a medida que aumentan las armónicas, aumenta el valor del THD, a continuación se definen las expresiones de distorsión armónica total, tanto en tensión como en corriente [1]:

Distorsión Total Voltaje	Distorsión Total Corriente
$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \cdot 100$	$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100$

Donde:

$V_h$ : Amplitud o valor efectivo de la armónica h-ésima.

$V_1$ : Amplitud o valor efectivo de la fundamental.

$I_h$ : Amplitud o valor efectivo de la armónica h-ésima.

$I_1$ : Amplitud o valor efectivo de la fundamental.

El THDI es generado por la carga, mientras que el THDV se genera por la fuente como resultado de una corriente muy distorsionada, es decir, que en un sistema eléctrico con cargas que produzcan corrientes armónicas, aumenta la posibilidad de que se produzca distorsión en la tensión.

### 1.1.8 Definición de Punto Común (IEEE-519)

Las perturbaciones armónicas que pueden presentarse en la red eléctrica de BT y MT son el resultado de la combinación:

- ▣ Perturbaciones originadas por el mismo usuario.
- ▣ Perturbaciones originadas por otros usuarios
- ▣ Desde la empresa eléctrica suministradora.

El Estándar «IEEE – 519» [5] define un punto común PCC (Fig. 1.5) para analizar la capacidad de la red eléctrica para absorber las perturbaciones armónicas, mediante el valor de la impedancia equivalente  $Z_{cc}$  vista desde el punto común (Fig 1.6). Este nudo común puede estar en el primario o secundario del transformador principal de alimentación [8].

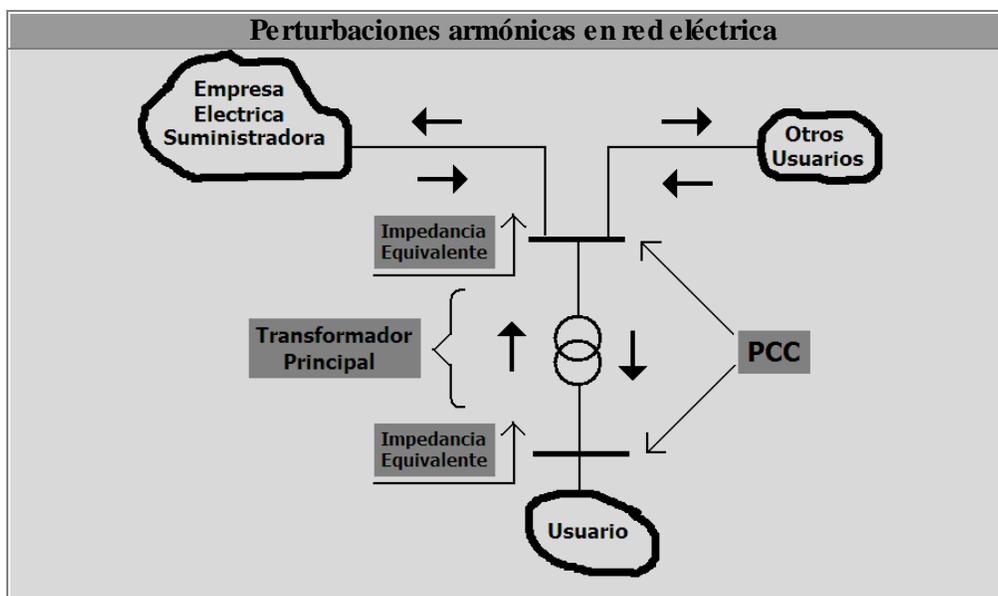


Fig 1.5: Ubicación del Punto común PCC y trayectoria de corrientes armónicas

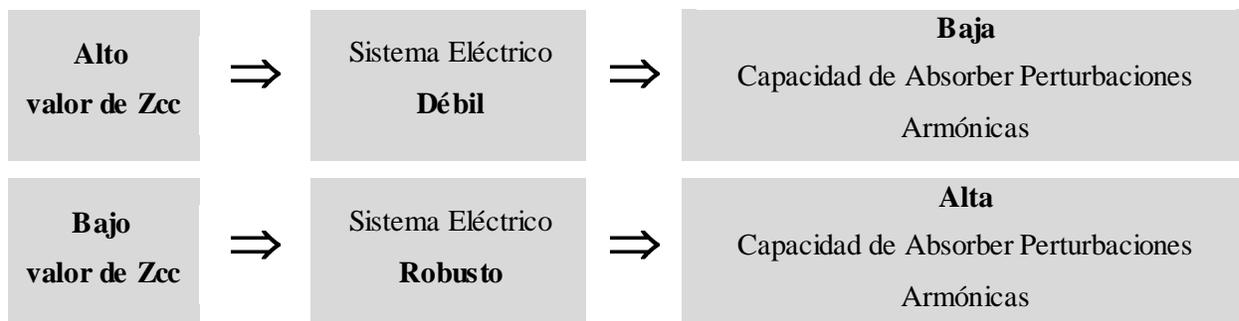


Fig 1.6: Niveles de Impedancia equivalente.

## 1.2 TIPOS DE CARGAS

Para hacer un análisis de cargas con contenido armónico se debe establecer las diferencias entre las cargas lineales y no lineales. Esta identificación puede llevarse a cabo mediante reconocer el tipo de carga o mediante la realización de medidas que verifiquen las corrientes producidas por la carga.

A continuación se citan algunos ejemplos de equipos responsables de la distorsión de las señales:

- ▣ Convertidores de potencia.
- ▣ Soldadoras y hornos de arco.
- ▣ Equipos informáticos (fuentes de alimentación conmutada) en sectores residenciales e industrial.
- ▣ Equipos que emplean dispositivos semiconductores.

Los equipos contaminantes abundan en la industria, y su perturbación armónica se distribuye por todo el sistema eléctrico, hasta incluso en las instalaciones residenciales.

### 1.2.1 Cargas Lineales

Una carga lineal es aquella que al ser alimentada con una tensión senoidal, genera una corriente también senoidal. De este modo, en cualquier instante, existe proporcionalidad entre la tensión y la corriente.

Este tipo de carga se encuentra en dispositivos convencionales como ventiladores, lámparas incandescentes o dispositivos construidos con elementos puramente resistivos. Aunque también puede tratarse de una carga que utilice elementos inductivos o capacitivos, como un motor eléctrico.

Todas las cargas son en mayor o menor medida no lineales, pero existe un grupo de cargas en que su característica no lineal es predominante.

### 1.2.2 Cargas No Lineales

Con el avance de la electrónica, una carga no lineal al ser alimentada con una tensión senoidal produce corrientes distorsionadas no sinusoidales y con características no lineales entre tensión y corriente.

En formas de onda distorsionadas el concepto de **factor de potencia** no es aplicable. El factor de potencia en sistemas de este tipo depende de dos factores, los que denominan factores de distorsión y desplazamiento.

Con ondas distorsionadas el concepto de triángulo de potencia no se aplica y se usa un tetraedro de potencia para obtener los valores del factor de potencia tanto de desplazamiento como distorsión.

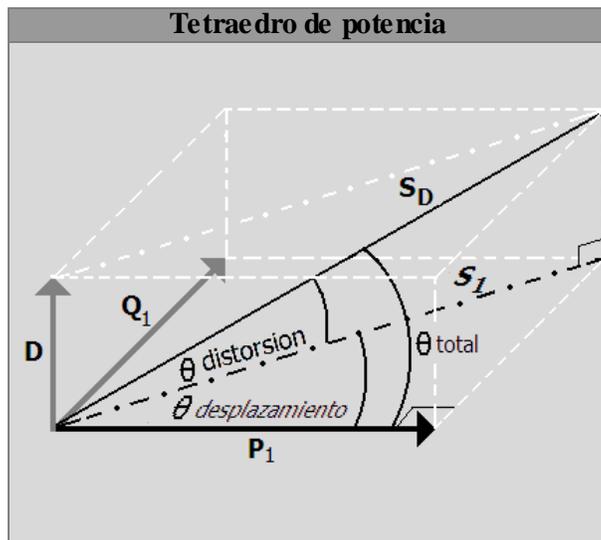
Factor de potencia total
$FP = \cos(\theta_{TOTAL}) = FP_{DISTORSION} \cdot FP_{DESPLAZAMIENTO}$

<p><b>Factor de potencia por distorsión:</b> factor de potencia que considera el flujo de potencia reactiva aportado por las componentes armónicas.</p> <p><b>Factor de potencia por desplazamiento:</b> corresponde al coseno del ángulo de desfase entre las componentes fundamentales de tensión y corriente.</p>
--

$FP_{DESPLAZAMIENTO} = \cos(\theta_{DESPLAZAMIENTO}) = \frac{P_1}{S_1}$
$FP_{DISTORSION} = \cos(\theta_{DISTORSION}) = \frac{1}{\sqrt{1 + (HD_I)^2}}$

La componente D es una potencia no activa e incrementa la potencia reactiva, produciendo calentamiento y potencia de distorsión.

$$D = \sqrt{S_D^2 - P_1^2}$$



## **1.3 ORIGEN Y EFECTO DE LAS PERTURBACIONES ARMÓNICAS**

### ***1.3.1 Rectificación Monofásica***

Actualmente es la principal fuente de distorsión, originando formas de corriente distorsionadas. En un sistema trifásico, cada fase entrega una corriente de baja magnitud, pero la acción en conjunto de las tres fases produce un aumento considerable de corriente por el neutro del sistema.

### ***1.3.2 Rectificación Trifásica***

Dentro de los sistemas industriales es la principal fuente de distorsión armónica, existen potencias comprendidas hasta unos 100 MVA.

Existen accionamientos para máquinas con:

- ▣ Accionamientos CC con rectificación controlada.
- ▣ Accionamientos CA con rectificación no controlada.

En ambas rectificaciones se generan micro cortes de tensión (conmutación), que es uno de los orígenes de las perturbaciones armónicas.

### ***1.3.2 Instalación de Condensadores***

Frecuentemente en un sistema eléctrico se encuentran perturbaciones armónicas y un bajo factor de potencia, de este último se concluye una falta de reactivo en el sistema. Para compensar el reactivo faltante o subir el factor de potencia se instalan bancos de condensadores.

El principal cuidado que hay que tener con la instalación de condensadores, es la presencia de armónicas. Estas pueden provocar un fenómeno de resonancia que puede amplificar el efecto ya presente de las armónicas. Los condensadores junto con las inductancias crean modos naturales de oscilación de segundo orden. Por lo tanto, si alguna frecuencia de armónicas coincide o está próxima a la de un modo natural se produce la amplificación de la perturbación y la corriente de entrada del banco queda limitada solo por la resistencia del circuito.

Como efecto del fenómeno de resonancia producto de la alta corriente en los condensadores puede conducir a la operación excesiva de fusibles, calentamiento de transformadores, ruptura del dieléctrico (aislamiento) en cables y sobretensión debido a la alta corriente circulante entre el condensador y la inductancia.

### 1.3.4 Transformadores de Poder

Las máquinas eléctricas son diseñadas para operar bajo ciertas características específicas. El transformador es diseñado para operar bajo:

- ▣ Carga Nominal
- ▣ Temperatura específica
- ▣ Frecuencia fija

Por lo tanto, en condiciones normales el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas propias pero sin sobrecalentarse ni disminuir su vida útil.

Los armónicos influyen fundamentalmente sobre los transformadores de distribución reductores, por lo general en configuración  $\Delta - Y$ , donde la mayoría de las cargas son aparatos electrónicos de baja potencia conectados entre línea y neutro. En los transformadores  $\Delta - Y$  las corrientes armónicas múltiplos de 3 se suman en el conductor neutro. En tanto, en el primario estas corrientes se inducen y se suman a las corrientes circulantes propias de la delta provocando un sobrecalentamiento del devanado y adicionando pérdidas al transformador.

El factor K, es un factor que indica cuanto se debe reducir la potencia máxima de salida en transformadores cuando existe presencia de armónicos en la carga. Cuando se supera la norma de contaminación armónica es conveniente usar transformadores con el factor k integrado, teniendo valores usuales de 1, 4, 9, 13, 20, 30 y 40. En transformadores convencionales se puede calcular el factor k (ec. 1.2).

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2} \dots\dots\dots (1.2)$$

Las diferencias entre transformadores convencionales y los transformadores con factor K son:

- ▣ Incremento del conductor primario para soportar corrientes armónicas de orden 3.
- ▣ Núcleo magnético con una menor densidad de flujo normal (acero mejor calidad)
- ▣ Secundarios aislados de menor sección y devanados en paralelo para reducir el calentamiento.

### 1.3.5 Conductores

En un sistema eléctrico con presencia de perturbaciones armónicas esta patente un incremento de las corrientes y en consecuencia de las pérdidas por efecto Joule. En el área de un conductor al circular corriente alterna, existen distintos niveles de densidad de corriente de acuerdo a la frecuencia. En un conductor de área circular a medida que la frecuencia aumenta, la densidad de corriente se concentra en la periferia, produciéndose un efecto térmico mayor. Debido al efecto térmico los conductores con presencia de armónicos considerable, es conveniente aplicarles un **factor de derrateo** (semejante al transformador) que se determina por las formulas de la ec. 1.3 y la curva de Carson (Fig. 1.7)

$$K = \frac{1}{1 + \sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2 \cdot \frac{R_h}{R_{cc}}}$$

$$S_x = 0,0636 \cdot \sqrt{\frac{h \cdot f}{R_{cc}}}$$

.....(1.3)

Donde:

Rh: resistencia conductor a la armónica específica

Rcc: resistencia conductor en corriente continua

F: frecuencia en Hz

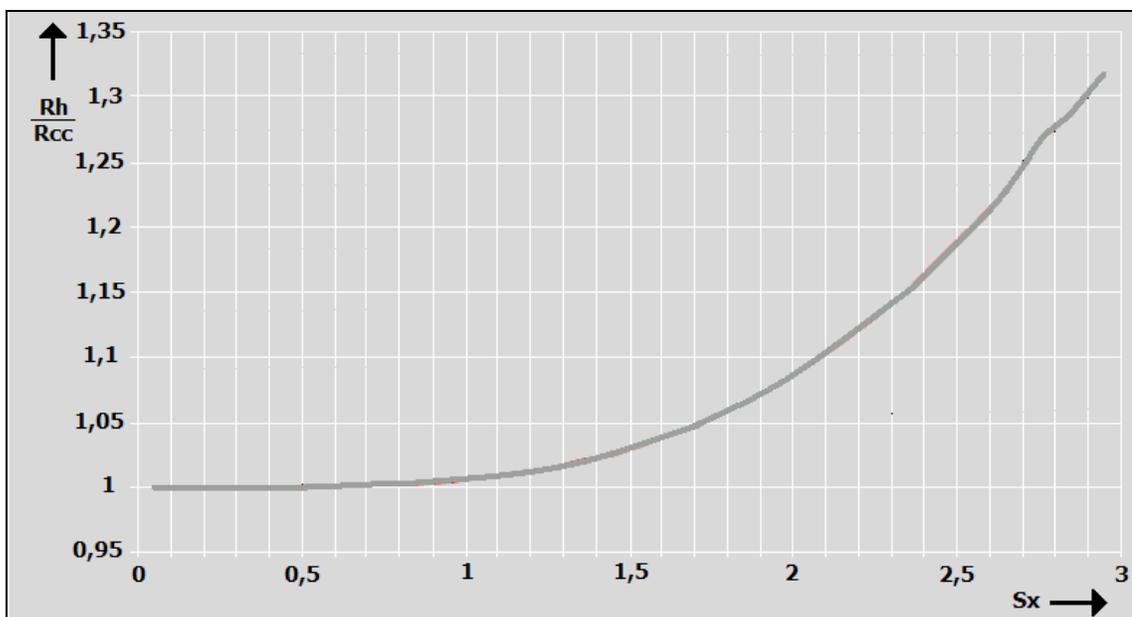


Fig. 1.7: Curva de Carson

## 1.4 NORMAS Y RECOMENDACIONES

El objetivo de normar es establecer un marco legal para la actividad comercial asociada a la operación de un Sistema Eléctrico de Potencia. Para normar es necesario definir criterios técnicos para la operación normal del sistema.

La mayoría de la reglamentación tiene carácter de recomendación (Estándar) como el IEEE- 519, el cual indica los límites máximos tolerados en las ondas de tensión y corriente. Otras normas están orientadas a los fabricantes de equipos y establecen límites máximos de emisión de armónicos (IEC).

En Chile, las principales normas relacionadas con Calidad de Servicio son la Ley General de Servicios Eléctricos en su última modificación en 1998 y La Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NT de SyCS).

### *1.4.1 Ley General de Servicios Eléctricos (DS 327- 1998)*

La ley define la calidad de suministro mediante parámetros eléctricos y define índices:

▣ **Artículo 223:** La calidad de suministro es el conjunto de parámetros físicos y técnicos que, conforme a este reglamento y las normas técnicas pertinentes, debe cumplir el producto electricidad (tensión, frecuencia y disponibilidad).

▣ **Artículo 227:** La Calidad de suministro eléctrico deberá ser evaluada separadamente en los sistemas eléctricos de generación, transporte, distribución y en el propio consumidor.

Las mediciones de calidad de suministro eléctrico se efectuaran en dos modalidades:

1. En un punto específico de la red, para determinar el nivel de calidad de suministro entregado al usuario.
2. En un conjunto de puntos de la red o de usuarios, seleccionados de acuerdo a procedimientos estadísticos y al programa y metodología que determine la superintendencia de electricidad y combustible.

La ley define el proceso de mediciones:

- ▣ Se deben tomar registros de mediciones de corrientes armónicas y de su índice de distorsión, durante una semana cualquiera del año (7 días consecutivos) y de esas mediciones se deberán analizar los valores estadísticos durante el intervalo de 10 minutos, de los cuales el 95% de los datos obtenidos deben encontrarse dentro de norma.
  
- ▣ **Artículo 229:** Los usuarios no podrán exigir calidades especiales de suministro por sobre los estándares que se establezcan a los precios fijados. Será de exclusiva responsabilidad de aquellos que lo requieran, la adopción de las medidas necesarias para lograrlas, salvo acuerdo. El Suministrador no debe afectar la Calidad de Servicio Eléctrico de otros usuarios. En caso que las instalaciones del usuario originan perturbaciones en el SEP que superen los límites permitidos por las Normas Técnicas, el suministrador deberá comunicarlo a la Superintendencia de Electricidad.

### ***1.4.2 Estándar IEEE 519 - 1992***

Esta norma norteamericana ofrece una amplia información acerca de las causas y efectos de las perturbaciones armónicas en redes eléctricas. Esta enfocada a limitar el contenido armónico de los sistemas de potencia. Separa y fija el grado de distorsión armónica máximo en voltaje (responsabilidad del suministrador de energía) y el de corriente (responsabilidad del consumidor de energía).

## 1.5 ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS

La atenuación de las perturbaciones armónicas debe ser abordada solo cuando estos presentan problemas en la red eléctrica.

El objetivo ideal es eliminar por completo la componente armónica que provoca la deformación de la onda sinusoidal. En la práctica eso es imposible, debido a la diversidad de cargas y señales que atenuar. Por lo tanto, lo más práctico es atenuar la armónica dominante.

Actualmente existen filtros que atenúan la componente armónica dominante al valor mínimo posible.

Un filtro armónico se puede entender como un dispositivo que presenta una severa variación de su impedancia en función de la frecuencia. Así la inserción de estos dispositivos en el sistema eléctrico modificará la respuesta frecuencial del sistema. Con ello, se podrá alterar el camino de circulación de los armónicos de corriente. En base a lo anterior los filtros se pueden clasificar en filtros paralelo y filtros serie.

La resonancia entre la impedancia del sistema y la impedancia del filtro produce la amplificación de las corrientes armónicas a valores de número de armónicas menores al valor de sintonía del filtro.

Debido a la tolerancia de las capacidades (debido al error) de los condensadores, la sintonía se ajusta para el 95% de la frecuencia de sintonía del filtro. Con ello, se limita el riesgo para los equipos, al cambiar la resonancia a valores cercanos a los inyectados.

## CAPÍTULO II

# SISTEMA ELÉCTRICO UBB

## 2 SISTEMA ELÉCTRICO UBB

### 2.1 SUBESTACIONES

La Universidad del Bio Bio UBB tiene un sistema eléctrico que se conecta a una línea de media tensión MT de 15 kV que viene procedente de la Subestación Andalien 66/15 kV. Por medio de dos empalmes la línea MT alimenta 8 transformadores con una potencia total instalada de 2,45 MVA.

El empalme E1 esta ubicado al costado de la Facultad de Arquitectura y suministra energía a 6 transformadores. Este empalme provee de energía a Administración, Rectoría, Gimnasio, Edificio Gantes, Facultad de Ciencias e Ingeniería Mecánica, Casino, Ingeniería Civil Aulas AA / AB / AC, FACE, Radio, Dirección de Servicios Estudiantiles.

El empalme E2 ubicado en la entrada secundaria de la UBB alimenta a 2 transformadores que proveen de energía a la Escuela de Diseño, PTM, CATEM.

El empalme E1 es la principal alimentación de la UBB ya que mensualmente factura cerca de \$25.000.000, en cambio, E2 factura cerca de 2.000.000.-

#### 2.1.1 Potencias de Subestaciones

Los 8 transformadores tienen relación de voltaje 15/0,4 kV. Las potencias de los transformadores van de los 150 kVA hasta 500 kVA (Fig. 2.1). Todos con conexión delta – estrella. La mayoría de los transformadores están a la intemperie sobre 2 postes, a excepción de la SS/EE 3 y 4, de 500 kVA y 150 kVA respectivamente, que se ubican en el Edificio Gantes.

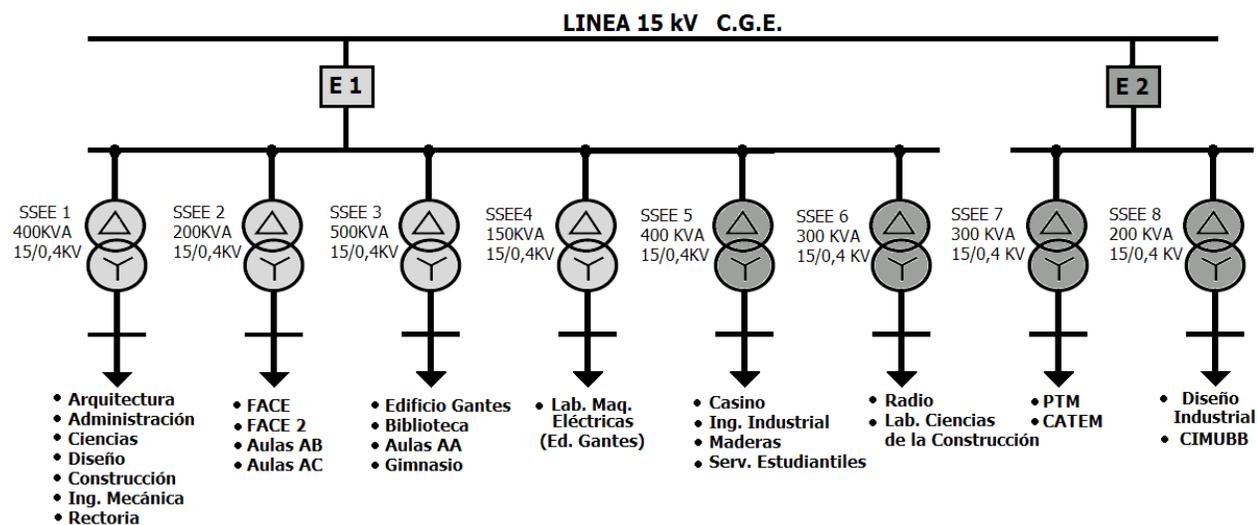


Fig. 2.1: Red eléctrica UBB.

### 2.1.2 Ubicación de Subestaciones

En un sistema eléctrico para minimizar pérdidas es conveniente conectar la fuente de energía cerca de las cargas. Es así que los transformadores están ubicados para alimentar los edificios cercanos a ellos (Fig. 2.2).

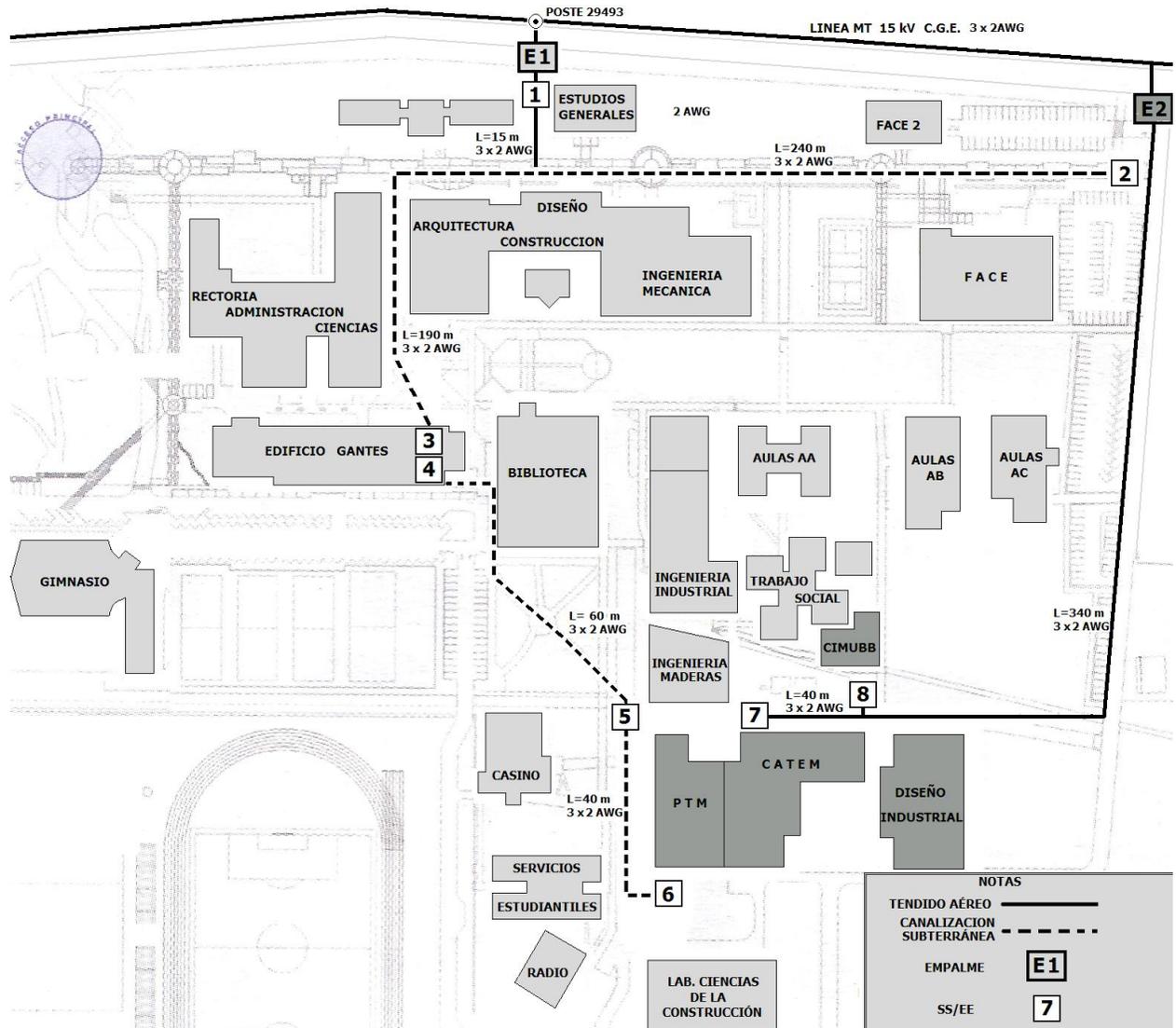


Fig. 2.2: Ubicación de Transformadores y alcance de ambos empalmes.

### ***2.1.3 Características de las cargas***

El consumo contaminante no lineal en la Universidad del Bio - Bio existente en la actualidad es del tipo informático, iluminación y equipos que incluyan electrónica de potencia. Por tanto existe una gran probabilidad que tenga contenido de armónicas triples en los conductores neutros de los transformadores. Pero el gran consumo informático se concentra en La Facultad de Ciencias Empresariales «FACE», la potencia del transformador que alimenta dicha carga es de 200 kVA.

También existen instalaciones que trabajan con máquinas que usan equipos no lineales en sus procesos como el Pabellón Tecnológico de la Madera «PTM», Centro de Alta Tecnología en Madera «CATEM», Laboratorio de Sistemas Automatizados de Producción «CIMUBB».

Por lo general el tema de armónicos no es muy tomado en cuenta dentro de la Universidad, ya que se sabe que existen en las redes pero no al punto de generar problemas de funcionamiento en otros equipos.

## 2.2 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN PUNTO COMÚN PCC

Es de trascendencia conocer los niveles de cortocircuito presentes en el punto común PCC que esta ubicado en el secundario del transformador, específicamente en el tablero (lugar donde se efectuó la medición). Este ayudara a poder visualizar mediante la aplicación del Std IEEE 519 – 1992, los límites admisibles de contenido armónico como también la robustez o debilidad de la red que entrega energía.

### 2.2.1 Cálculo de Valores Base en Zonas Eléctricas

Para analizar los niveles de cortocircuito se debe conocer los valores base en voltaje, corriente e impedancia, ambos a una base de potencia aparente común (Ver Tabla 2.1). Para el análisis se definen dos zonas limitadas por el transformador y los niveles de voltaje.

TABLA 2.1  
VALORES BASE

Zonas	Potencia Base [MVA]	Voltaje Base [kV]	Corriente Base [A]	Impedancia Base [ $\Omega$ ]
I	100	15	3.849	2,25
II	100	0,4	144.337,57	0,0016

Con los valores base en ambas zonas, entonces se puede obtener los valores en por unidad hasta el punto común que esta ubicado en el secundario de los transformadores.

Se debe conocer el camino que seguirá la corriente de cortocircuito y definir hasta que punto se efectuará el cálculo. El camino a seguir de la corriente de cortocircuito en ambos empalmes se encuentra en la Fig. 2.3 y 2.4.

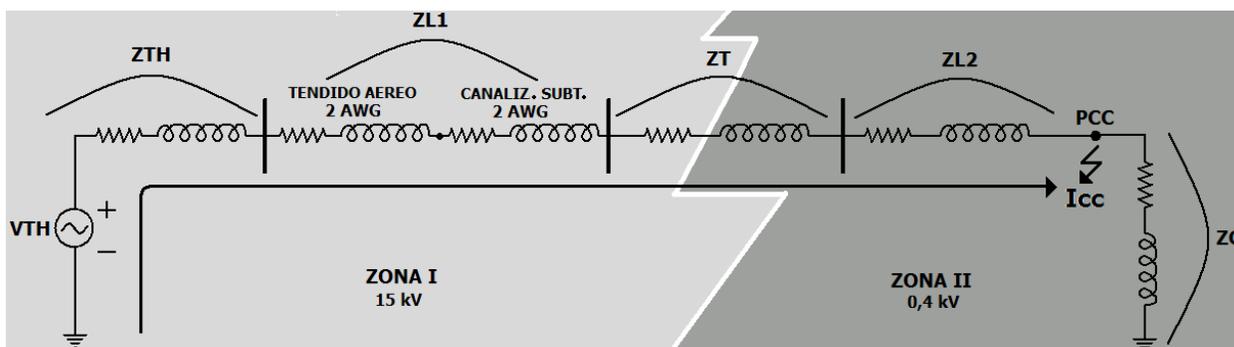


Fig. 2.3: Recorrido de Corriente de Cortocircuito « $I_{cc}$ » en Empalme 1

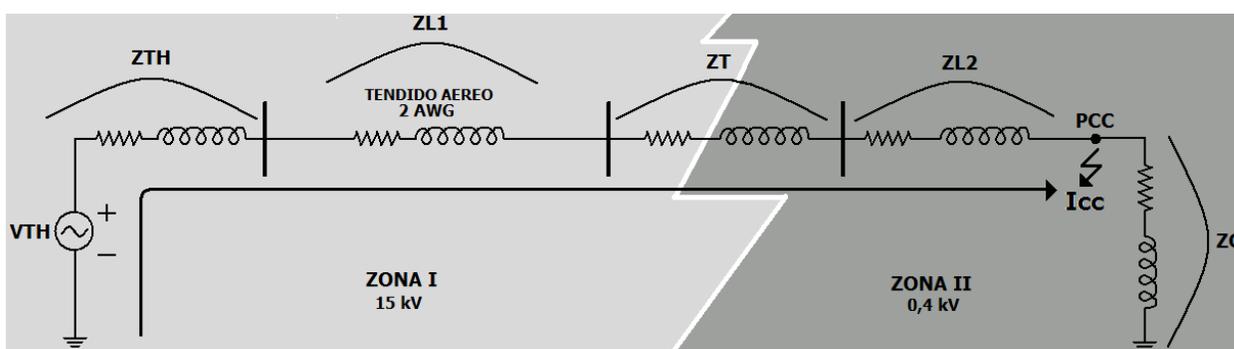


Fig. 2.4: Recorrido de Corriente de Cortocircuito « $I_{cc}$ » en Empalme 2

### 2.2.2 Cálculo de Impedancia Equivalente ZTH

La empresa eléctrica «CGE» controla los datos referentes al equivalente de Thevenin vistos desde el empalme hacia el SEP y proporciona los datos en media tensión MT con niveles de cortocircuito monofásico, trifásico y el X/R (Ver TABLA 2.2).

TABLA 2.2  
NIVELES DE CORTOCIRCUITO EN EMPALME

	Corriente Simétrica [A]	Corriente Asimétrica [A]	X/R	Tiempos de Despeje [s]
<b>Trifásico</b>	2.861	2.875	1,17	0,04
<b>Monofásico</b>	2.099	2.158	1,76	0,29

Los Niveles de Corriente de Cortocircuito son en referencia a un poste de la CGE numero 29493, ubicado frente a la SS/EE 1 Arquitectura.

Para el cálculo ZTH se debe utilizar la ec.2.1 y considerando los valores de corriente asimétricos trifásicos, por ser de mayor nivel que el cortocircuito monofásico.

$$\left. \begin{aligned} Z_{TH} &= \sqrt{R_{TH}^2 + X_{TH}^2} \text{ [p.u.]} \\ I_{cc} &= \frac{1|0}{Z_{TH}} \text{ [p.u.]} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1)$$

Con el valor base de corriente en la zona I y la corriente asimétrica trifásica se tiene la corriente en por unidad y se puede obtener el modulo de ZTH:

$$I_{cc} = \frac{2.875 \text{ A}}{3.849 \text{ A}} = 0,75 = \frac{1|0}{Z_{TH}}$$

$$\Rightarrow Z_{TH} = 1,33 \text{ [p.u.]}$$

Ahora interesa encontrar RTH y XTH por medio de la relación X/R:

$$Z_{TH} = \sqrt{R_{TH}^2 + (1,17 \cdot R_{TH})^2} \Rightarrow 1,33 = R_{TH} \cdot 1,54$$

$$R_{TH} = 0,864 \text{ [p.u.]}$$

$$X_{TH} = 1,17 \cdot R_{TH} = 1,011 \text{ [p.u.]}$$

$$Z_{TH} = 0,864 + j 1,011 \text{ [p.u.]}$$

### 2.2.3 Cálculo de Impedancia en líneas ZL1

En la universidad existen distintos tipos de canalización, de lo que dependerá la resistencia y reactancia de cada línea. En el Empalme 1 se encuentra un tendido aéreo de 15 metros y el resto es canalización subterránea (Ver TABLA 2.3 y 2.4). En el Empalme 2 todo el tendido es aéreo (Ver TABLA 2.5).

TABLA 2.3  
IMPEDANCIA EN P.U. TENDIDO AÉREO – EMPALME 1

SSEE	Tipo Conductor	Sección AWG	Tendido aéreo [m]	R + j X [Ω/km]	R + j X [Ω]	R + j X [p.u.]
1 a 6	Cu desnudo	2	15	0,5935 + j 0,387	0,009 + j 0,006	0,004 + j 0,0026

TABLA 2.4  
IMPEDANCIA EN P.U. CANALIZACIÓN SUBTERRÁNEA – EMPALME 1

SSEE	Tipo Conductor	Sección AWG	Canalización Subterránea [m]	R + j X [Ω/km]	R + j X [Ω]	R + j X [p.u.]
2	XTU	2	240	0,25 + j 0,23	0,06 + j 0,055	0,0266 + j 0,024
3	XTU	2	190	0,25 + j 0,23	0,047 + j 0,044	0,0211 + j 0,02
5	XTU	2	250	0,25 + j 0,23	0,0625 + j 0,06	0,03 + j 0,0211
6	XTU	2	290	0,25 + j 0,23	0,073 + j 0,066	0,0322 + j 0,03

TABLA 2.5  
IMPEDANCIA EN P.U. TENDIDO AÉREO – EMPALME 2

SSEE	Tipo Conductor	Sección AWG	Tendido aéreo [m]	R + j X [Ω/km]	R + j X [Ω]	R + j X [p.u.]
7	Cu desnudo	2	380	0,9508 + j 0,4014	0,361 + j 0,152	0,16 + j 0,067
8	Cu desnudo	2	340	0,9508 + j 0,4014	0,323 + j 0,136	0,143 + j 0,0604

### 2.2.4 Cálculo de Impedancia en Transformadores ZT

Para determinar el modulo de la impedancia «ZT» en ohm del transformador se debe realizar por medio de la potencia aparente base «SB», impedancia Z% del transformador, el voltaje nominal «VN» y la corriente nominal «IN» (ec 2.2). Para obtener la resistencia «RT» del transformador en ohm, se debe realizar por medio de las pérdidas de cobre «Pcu» y la corriente nominal «IN» (ec 2.2).

$$\left. \begin{aligned} Z_T &= \frac{Z\%}{S_B} \cdot \frac{V_N}{\sqrt{3} \cdot I_N} \text{ [}\Omega\text{]} \\ R_T &= \frac{P_{cu}}{3 \cdot I_N} \text{ [}\Omega\text{]} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Para obtener el valor de impedancia en por unidad del transformador se utilizara la ec 2.3 por medio de un cambio de base. La TABLA 2.6 muestra los valores para el cálculo de cortocircuito.

$$Z_T = Z_T \text{ [}\Omega\text{]} \cdot \frac{V_N}{V_{BASE}} \cdot \frac{S_{BASE}}{S_{TRAFO}} \text{ [p.u.]} \dots\dots\dots(2.3)$$

TABLA 2.6  
IMPEDANCIA DE LOS TRANSFORMADORES «ZT» EN P.U.

SSEE	S [kVA]	In [A]	Pcu [W]	R [Ω]	Z%	ZT [p.u]
1	400	577,35	4.800	0,0048	4	1,2 + j 3,75
2	200	288,68	3.300	0,013	4	6,5 + j 14,5
3	500	721,68	5.050	0,0038	5	0,76 + j 3,2
5	400	577,35	4.800	0,0048	4	1,2 + j 3,75
6	300	433	4.000	0,0071	4	2,37 + j 6,67
7	300	433	4.000	0,0071	4	2,37 + j 6,67
8	200	288,68	3.300	0,013	4	6,5 + j 14,5

### 2.2.5 Cálculo de Impedancia en Conductores ZL2

Los conductores de alimentación del tablero, tienen una distancia promedio de 5 metros. Estos conductores son el punto donde dos o más usuarios toman energía, de ahí la importancia de considerarlos en el cálculo de cortocircuito (Ver TABLA 2.7). Para obtener el valor de la impedancia en ohm es necesario utilizar la ec. 2.4 para conductores en baja tensión.

$$Z = (R + jX \cdot \frac{50}{60}) \frac{L}{30,48} [\Omega] \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

R: resistencia en ohm / 100 pies

X: reactancia en ohm / 100 pies

L: largo del conductor en metros

TABLA 2.7  
IMPEDANCIA DE CONDUCTORES «ZL2» EN P.U.

SSEE	Sección	Largo conductores [m]	R + j X [Ω]	R + j X [p.u.]
1	350 MCM	5	0,00064 + j 0,00066	0,4 + j 0,4125
2 A	3 / 0 AWG	5	0,00138 + j 0,000686	0,8625 + j 0,428
2 B	250 MCM	5	0,000964 + j 0,000665	0,6025 + j 0,4125
3	250 MCM	5	0,000964 + j 0,000665	0,6025 + j 0,4125
5	250 MCM	5	0,000964 + j 0,000665	0,6025 + j 0,4156
6	250 MCM	5	0,000964 + j 0,000665	0,6025 + j 0,415
7	1 AWG	5	0,00265 + j 0,000728	1,656 + j 0,455
8	2 / 0 AWG	5	0,001706 + j 0,000698	1,066 + j 0,436

### 2.2.6 Cálculo de Corriente de Cortocircuito en PCC

Para determinar el camino seguido por la corriente de corto, es necesario modelar el sistema en por unidad y determinar la impedancia total que dicha corriente debe atravesar (Ver TABLA 2.8). Teniendo el sistema en por unidad y los valores base en cada zona, se encontrara el valor del cortocircuito en cada transformador (Ver TABLA 2.9)

TABLA 2.8  
IMPEDANCIA TOTAL EN P.U.

SSEE	ZTH [p.u.]	ZL1 [p.u.]	ZT [p.u.]	ZL2 [p.u.]	Zcc [p.u]
1	0,864 + j 1,011	0,004 + j 0,0026	1,2 + j 3,75	0,4 + j 0,4125	2,468 + j 5,176
2 A	0,864 + j 1,011	0,0306 + j 0,026	6,5 + j 14,5	0,8625 + j 0,428	8,26 + j 15,96
2 B	0,864 + j 1,011	0,0306 + j 0,026	6,5 + j 14,5	0,6025 + j 0,4125	8 + j 15,95
3	0,864 + j 1,011	0,0251 + j 0,022	0,76 + j 3,2	0,6025 + j 0,4125	2,25 + j 4,645
5	0,864 + j 1,011	0,034 + j 0,024	1,2 + j 3,75	0,6025 + j 0,4156	2,7 + j 5,2
6	0,864 + j 1,011	0,0362 + j 0,032	2,37 + j 6,67	0,6025 + j 0,415	3,873 + j 8,13
7	0,864 + j 1,011	0,16 + j 0,067	2,37 + j 6,67	1,656 + j 0,455	5,05 + j 8,2
8	0,864 + j 1,011	0,143 + j 0,0604	6,5 + j 14,5	1,066 + j 0,436	8,6 + j 16

TABLA 2.9  
NIVEL DE CORTOCIRCUITO EN PCC Y POTENCIA DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

SSEE	Zcc [p.u]	Icc [p.u.]	Icc [kA]	Sec [MVA]
1	2,468 + j 5,176	0,1744	25,17	17,51
2 A	8,26 + j 15,96	0,0556	8,03	5,56
2 B	8 + j 15,95	0,056	8,083	5,605
3	2,25 + j 4,645	0,194	28	19,4
5	2,7 + j 5,2	0,1706	24,62	17,06
6	3,873 + j 8,13	0,111	16,03	11,1
7	5,05 + j 8,2	0,104	15	10,4
8	8,6 + j 16	0,055	7,94	5,5

## CAPÍTULO III

### EQUIPO DE MEDICIÓN Y SOFTWARE

### **3.- EQUIPO DE MEDICIÓN Y SOFTWARE**

#### **3.1 POWER XPLORER PX5**

El analizador industrial Power Xplorer PX5 pertenece a la marca Dranetz – BMI. Este equipo es potencialmente adecuado para el análisis en tiempo real y estadístico de las distintas variables de un sistema eléctrico. El PX5 es un equipo de medida que permite visualizar distintos parámetros eléctricos por medio de 2 señales de entrada, una de tensión y otra de corriente simultáneamente a través de 8 canales (4 de tensión y 4 de corriente). El PX5 es de fácil manejo y apropiado para mediciones eléctricas en terreno, donde muchas veces se dificulta la instalación de un instrumento, por las condiciones de uso, que estos implican.

El analizador consta de una pantalla LCD de 1/4" VGA sensible al tacto, por medio de la cual, el usuario tiene acceso a los distintas pantallas disponibles en el menú principal. El PX5 viene diseñado para cumplir con las normas IEEE 1159 e IEC 61000-4-30. En cuanto a la precisión de las medidas, clase A.

Para la extracción de datos del equipo, se usa un software DRAN VIEW 6.0 de la marca DRANETZ. En el software es posible visualizar parámetros máximos y mínimos de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, etc.

### 3.1.1 Descripción del Equipo

Para poder realizar la grabación de los datos de programación y registro de las mediciones el PX5 consta de dos ranuras denominadas por el fabricante «**SLOT 1**» y «**SLOT 2**» (Fig. 3.1), en donde van insertas dos tarjetas de memoria de marca COMPACT FLASH con un rango de capacidad de 32 MB hasta 128 MB. Siempre se registran los datos en una tarjeta, insertándola en cualquiera de las dos ranuras, la otra tarjeta se podría insertar en el caso; de que no quede espacio en la tarjeta o para visualizar algún archivo grabado.

Para alimentar el PX5 se puede realizar de dos formas; por la batería interna o por el cargador a la red eléctrica. En caso de utilizar la batería, se debe tener la precaución de que la batería dura un máximo de 2 horas y hasta 3 horas, si se configura el equipo con ahorro de energía. Además el equipo tiene un **led indicador de alimentación** (Fig. 3.1) que parpadeara cuando el equipo funciona correctamente y permanece encendido cuando la batería se carga totalmente. La batería se carga durante 6 horas aproximadamente con el PX5 encendido o apagado.

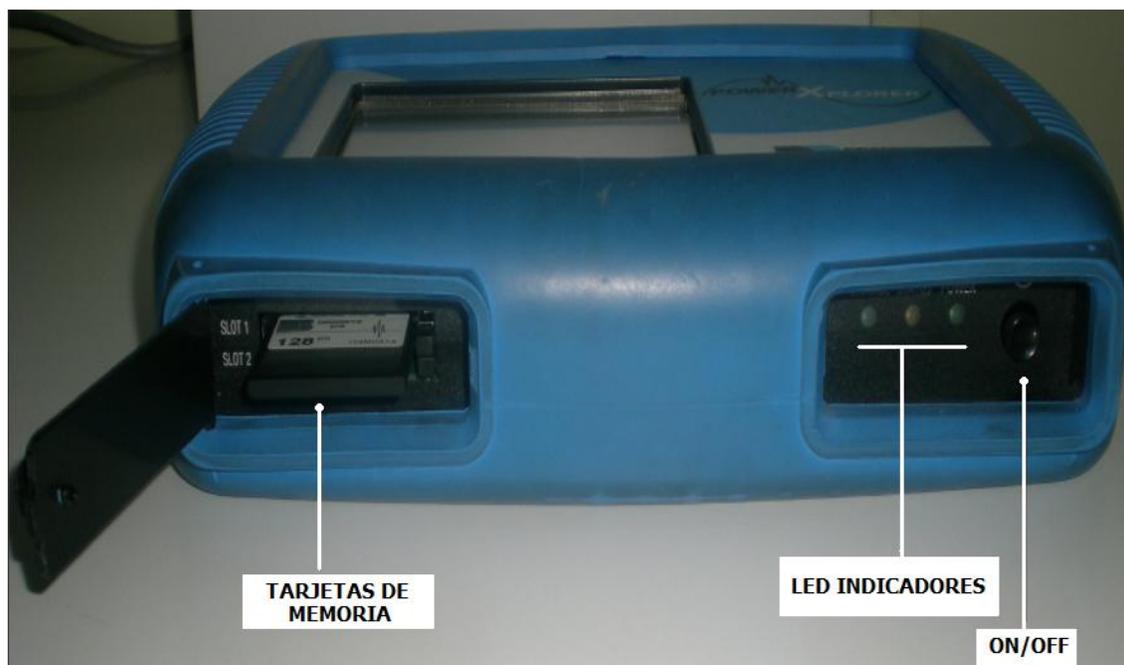


Fig. 3.1: Tarjetas de Memoria, Led indicadores y botón de encendido

Al encender el PX5 se visualiza en pantalla el «**Menú de inicio**» (Fig. 3.2) como modo **Osciloscopio, Medidor, Armónicas, Fasor, Historial, Eventos, Reporte y Preferencias**.



Fig. 3.2: Menú de inicio del PX5

En el modo «**Osciloscopio**» se puede visualizar en tiempo real las formas de onda de tensión y corriente de los 8 canales, con una actualización instantánea de cada una de las formas de onda. También se pueden tomar fotos de las formas de onda, que se guardan en la memoria como eventos para un posterior análisis.

El modo «**Medidor**» le proporciona al usuario las funciones de voltímetro y amperímetro de verdadero valor eficaz en tiempo real y por fase, además presenta otros parámetros eléctricos.

El modo «**Armónicas**», muestra de manera detallada en forma de lista o gráfica la magnitud y el ángulo de fase de cada armónica hasta el orden 63.

El modo «**Fasor**» indica las relaciones de fase entre todas las tensiones y corrientes de acuerdo a la frecuencia fundamental, la visualización de los ángulos de fase, nos permiten saber si el conexionado se ha realizado de manera correcta. También mediante la función demo, se puede ver la realización gráfica para una carga; resistiva, inductiva o capacitiva.

El modo «**Historial**» permite visualizar valores mínimos, medios y máximos registrados de forma gráfica, a intervalos de tiempo programados por el usuario.

El modo «**Eventos**» son ciclos que se capturan, tal como las fotos que se pueden tomar en el modo osciloscopio y que se guardan en la tarjeta de memoria del equipo. Los eventos pueden ser vistos una vez iniciada la monitorización o después leerlos de la tarjeta de memoria.

El modo «**Reporte**» entrega dos tipos de reportes de cumplimiento de las normas de calidad; el informe EN50160 en donde muestra gráficos y tablas estadísticas que reflejan el grado de cumplimiento de los parámetros especificados por el usuario. El estado PQ (poder de calidad) en donde muestra un resumen del estado de la instalación mediante un panel de parámetros.

En modo «**Preferencias**» se puede acceder al cambio de idioma, ajuste de la hora y fecha, características del display, calibración de la pantalla táctil y otros ajustes.

### 3.1.2 Programación del Equipo

Al encender el equipo aparecerá el «**Menú de inicio**», luego en la parte inferior de la pantalla se encuentra la opción «**INICIAR/Config.**». Al hacer clic, aparece una lista de configuraciones; **Configuración Automática (Calidad de Potencia)**, **Configuración Mago**, **Monitorear el Mismo Circuito**, **Cargar la Programación de la Tarjeta de Memoria**, **Cargar Data de la Tarjeta de Memoria** (Fig. 3.3).

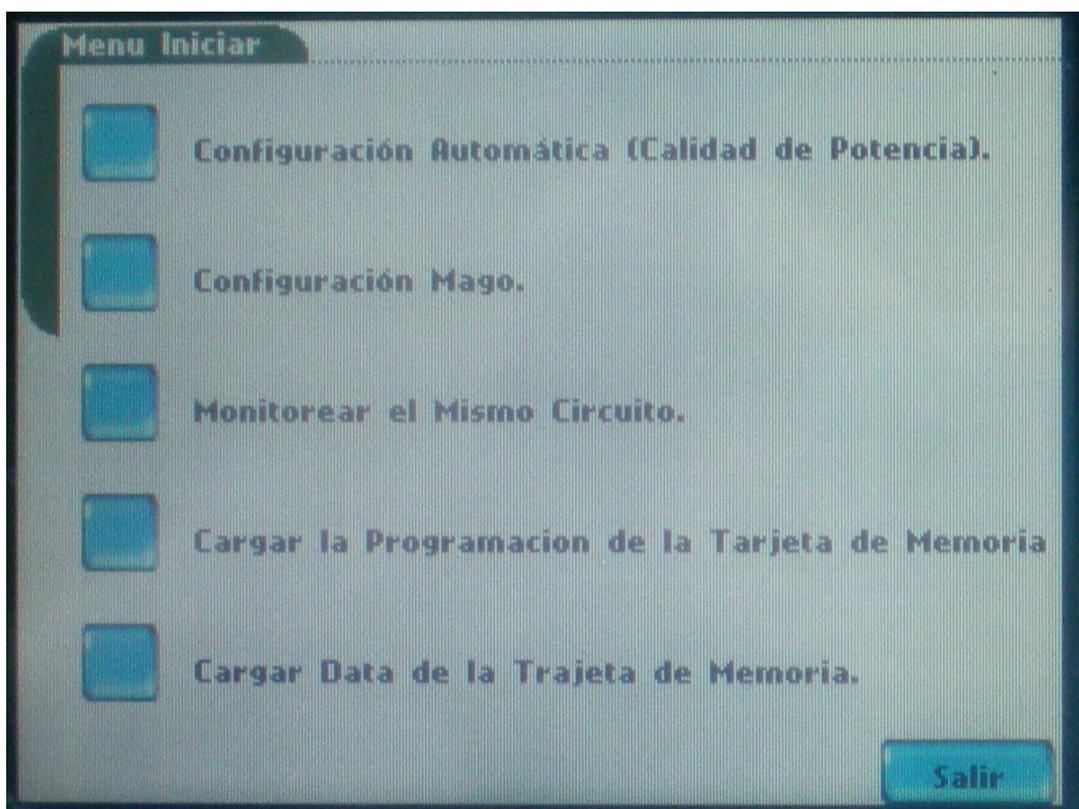


Fig. 3.3: Lista de Configuraciones al hacer clic en **INICIAR/Config.**

A continuación se explica de forma breve cada una de estas configuraciones:

La «**Configuración Automática**» le permite al usuario acceder directamente a la monitorización, en donde el equipo hace el reconocimiento del circuito implementado.

En «**Configuración Mago**» el usuario realiza la programación del equipo paso a paso, a través de una serie de pantallas, en donde se va solicitando la información del circuito que se va a implementar. Esta configuración es la principal y más apropiada para realizar mediciones de análisis de calidad de la energía eléctrica.

En «**Monitorear el Mismo Circuito**» el equipo carga la configuración actual, habiendo guardado previamente el fichero de configuraciones en la tarjeta de memoria.

En «**Cargar Data de la Tarjeta de Memoria**» le permite acceder a cargar cualquier fichero de programación que se encuentre en la tarjeta de memoria, los ficheros de configuración aparecen en color verde en la tarjeta de memoria. Cargar data de la tarjeta de memoria, le permite transferir los eventos almacenados desde la tarjeta de datos al PX5.

De las configuraciones anteriores se selecciona «**Configuración Mago**», donde aparece la opción de la figura 3.4 «**Selección de Pinza**»

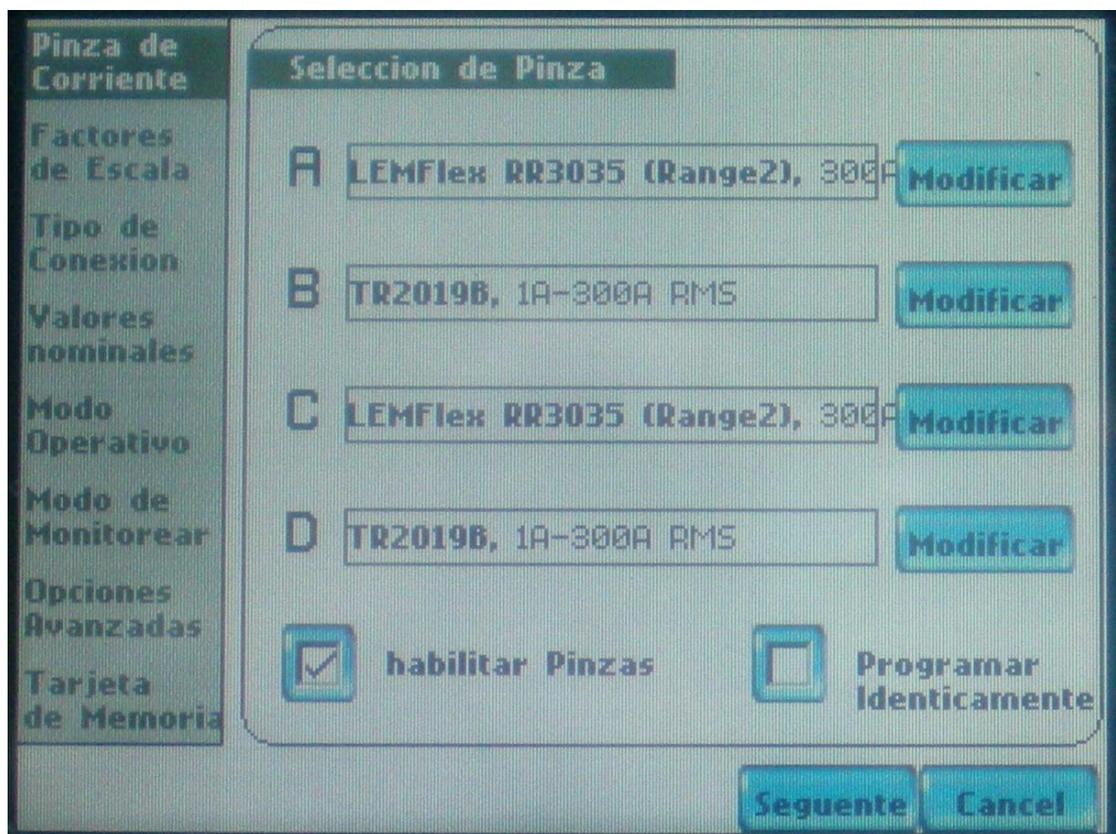


Figura 3.4. Pantalla principal de la configuración mago.

Esta pantalla de la Fig. 3.4 muestra todos los ajustes que se deben realizar en la configuración mago. En la parte lateral izquierda se puede apreciar cada uno de estos ajustes, donde parte por la selección de pinzas de corriente hasta guardar la configuración en la tarjeta de memoria. La selección de pinza debe ser la apropiada al momento de implementar el circuito, esta selección se realiza por fase, tal como lo indican las letras (A, B, C y D). La letra D es la pinza que corresponde a la corriente que circula por el neutro.

Se recomienda medir las corrientes de cada fase y la de neutro del circuito a la hora de hacer la selección de pinzas, para que la capacidad de corriente de la pinza sea de acuerdo a la corriente de cada fase y del neutro.

Una vez realizada la selección de pinzas se continúa a la pantalla siguiente «Programación del Factor de Escala» (Fig. 3.5).

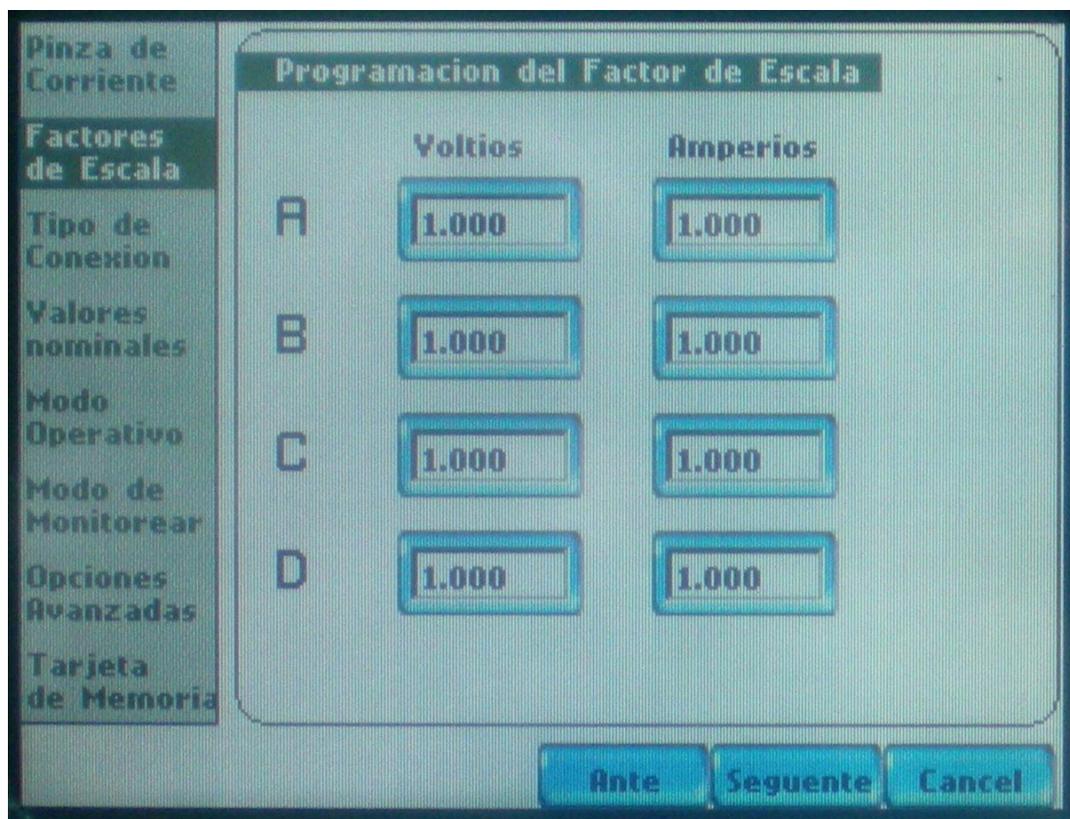


Figura 3.5. Programación del factor de escala.

Esta pantalla de la Figura 3.5 muestra los ajustes de los factores de escala correspondientes a cada letra (A, B, C y D) mencionados anteriormente y que se visualizan ajustadas todas en «1», en tensión y corriente. Los factores de escala siempre deben ser 1, a menos que se instale un transformador de tensión o corriente. En el caso de instalar un transformador (tensión o corriente); el factor de escala, se obtiene de la razón de transformación. Por ejemplo si la razón de transformación de un transformador de corriente es 20:5, el factor es 4.

Una vez realizada la «Programación del Factor de Escala», se procede con la próxima pantalla «Seleccionar Tipo de Conexión» (Fig. 3.6).

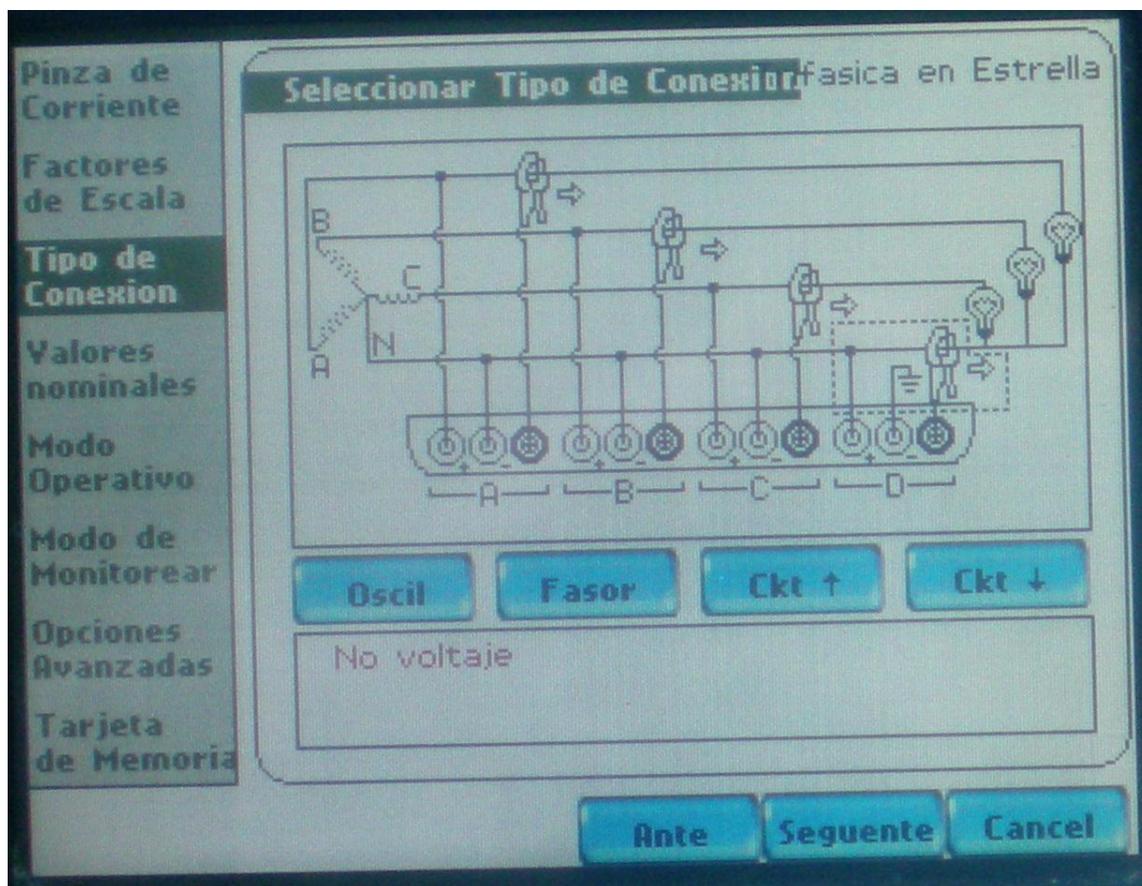


Figura 3.6. Tipo de conexión.

Esta pantalla «Seleccionar Tipo de Conexión» muestra los esquemas de conexión a los cuales puede ser conectado el equipo. Los esquemas de conexión son los siguientes; monofásico, bifásico o fase partida, trifásico en estrella con neutro, trifásico en triangulo (flotante o puesto a tierra), trifásico en triangulo (2 watímetros). El cambio de conexionado se realiza haciendo clic con el lápiz PDA, en «Ckt» (arriba ↑ o abajo ↓).

El conexionado de la figura 3.6, corresponde a un circuito trifásico en estrella con neutro, debido a que las mediciones fueron hechas en el lado de baja tensión de transformadores delta-estrella.

Una vez que se escoge el tipo de conexión en «**Seleccionar Tipo de Conexión**», se debe hacer clic en «**Siguiente**» y el equipo mostrará la **pantalla de precaución** que se muestra en la figura 3.7.

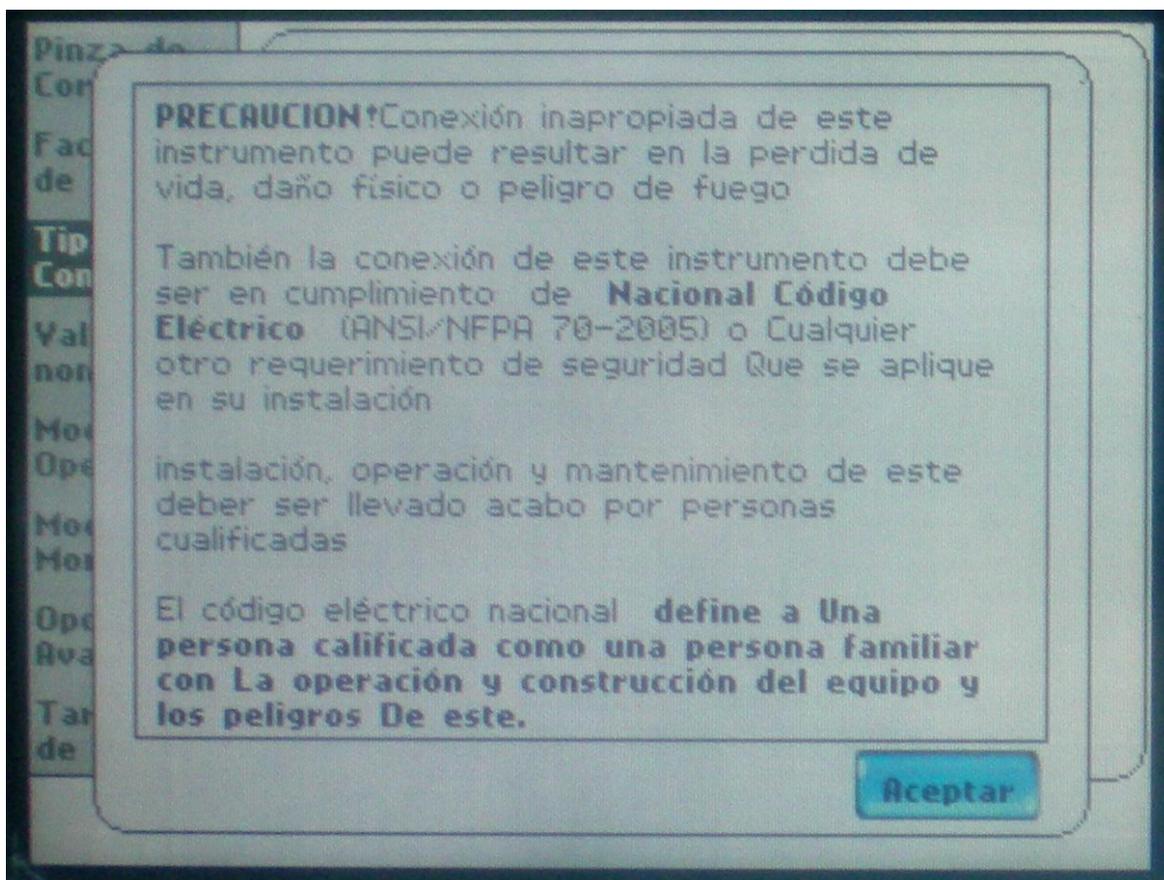


Figura 3.7. Pantalla de precaución del conexionado.

Esta pantalla de precaución de la Fig 3.7 tiene por objetivo indicar varias recomendaciones tales como; que un mal conexionado podría causar la muerte de una persona, daño físico o peligro de fuego. También advierte sobre la conexión de este instrumento, sobre cumplir con las normas de seguridad de acuerdo a lo estipulado por el código nacional eléctrico o cualquier requerimiento de seguridad que se aplique donde corresponda. La instalación, operación y mantención de este equipo debe ser realizado por personas idóneas o calificadas.

Una vez que se aceptada la **pantalla de precaución** se puede acceder a la próxima pantalla «**Valores nominales**» (Fig. 3.8).

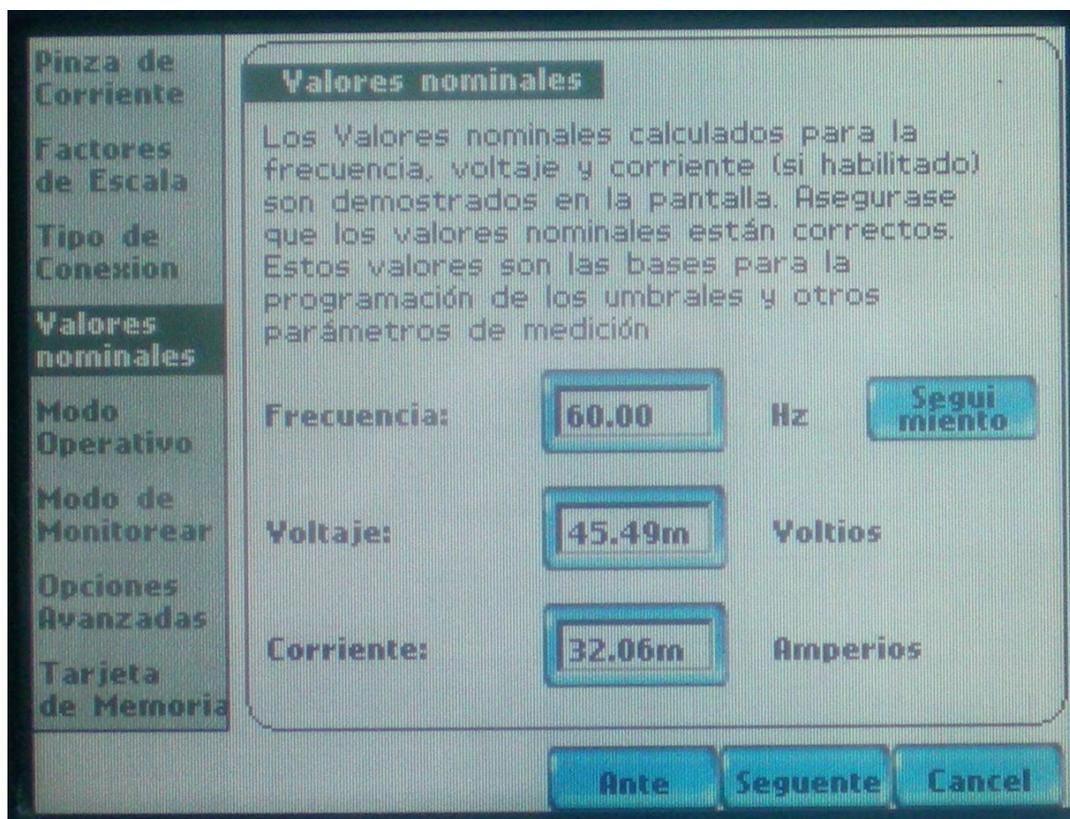


Figura 3.8. Valores nominales de registro del instrumento.

La figura 3.8 «**Valores nominales**», corresponde a la pantalla de los valores nominales que son necesarios para el registro de parámetros. Los valores nominales de programación del instrumento son; la frecuencia, tensión y corriente. Estos parámetros son la base para la programación de los umbrales y cualquier parámetro de medición. También en esta pantalla es posible hacer un seguimiento de la frecuencia, en donde depende netamente del usuario.

Se recomienda hacer previamente una medición de las variables eléctricas, con otro instrumento para una referencia de los valores nominales de frecuencia tensión y corriente.

Una vez ajustados los valores nominales en «**Valores nominales**», clicar en siguiente y aparecerá la pantalla «**Modo Operativo**» (Fig. 3.9).

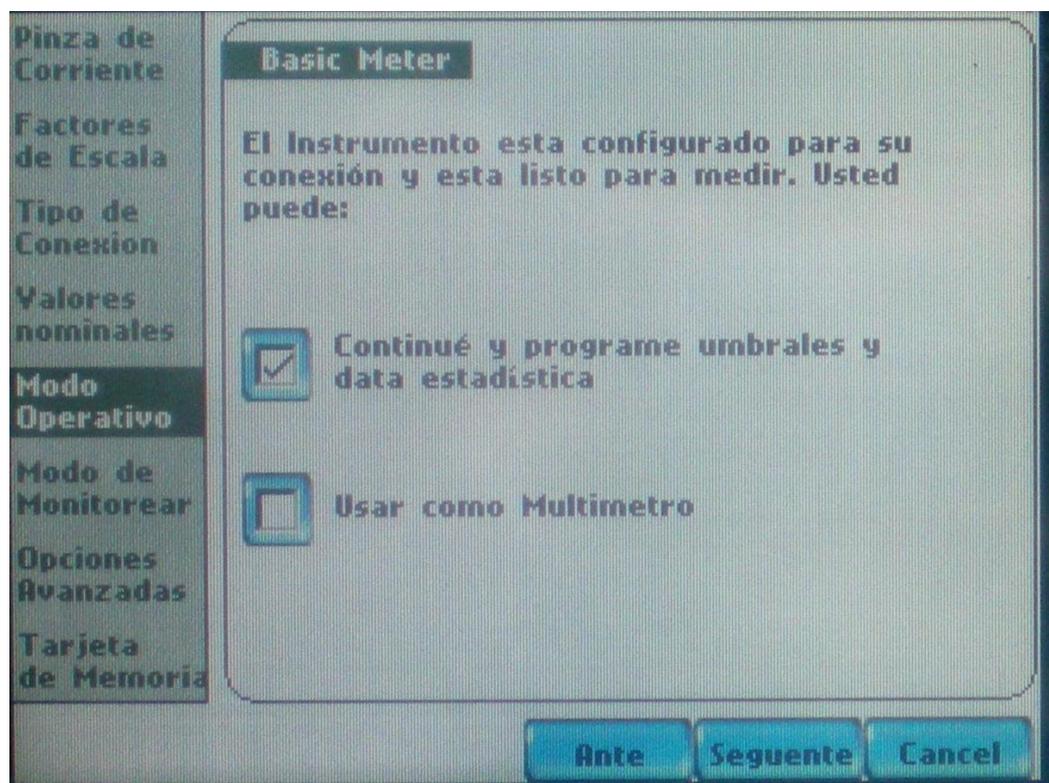


Figura 3.9. Modo operativo del instrumento.

En el «**Modo Operativo**», el instrumento está configurado de acuerdo al circuito implementado y listo para realizar la medición.

La pantalla de la figura 3.8, muestra dos opciones; la primera «**Continué y programe umbrales y data estadística**». La segunda opción aparece «**Usar como multímetro**». Se seleccionó la primera opción como se puede apreciar en la figura 3.9.

Cada vez que se necesite hacer un registro de datos de acuerdo a las variables o parámetros de interés, se debe seleccionar «**Continué y programe umbrales y data estadística**». El modo «**Usar como multímetro**» no realiza registro, sino solo le permite al usuario visualizar las variables y parámetros de forma instantánea en las distintas pantallas del menú principal.

En la Figura 3.10 se aprecia el «**Modo de Monitorear**» después de la pantalla «**Modo Operativo**».

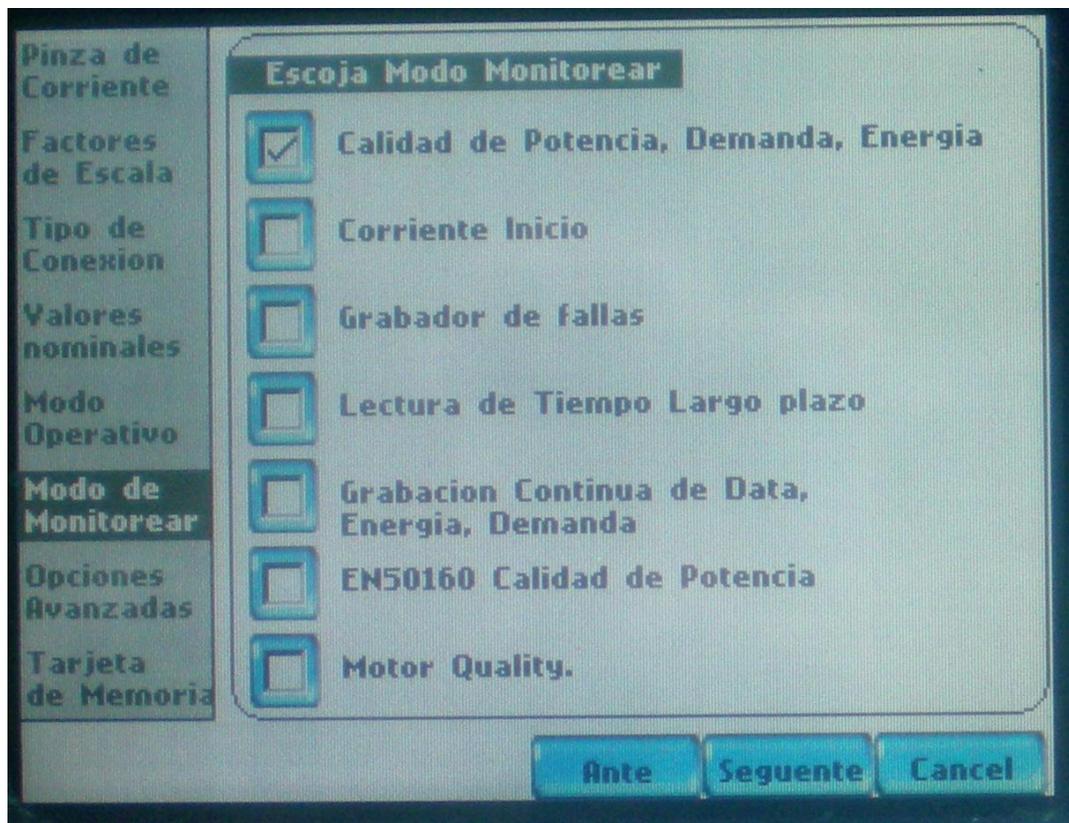


Figura 3.10. Modo de monitoreo del equipo.

Esta pantalla contiene 7 modos de monitoreo, de los cuales se ha seleccionado el modo «**Calidad de Potencia, Demanda, Energía**».

A continuación se explica de manera breve los modos de monitoreo de la fig. 3.10:

En el modo «**Calidad de Potencia, Demanda, Energía**», seleccionado en el PX5, evalúa automáticamente las condiciones existentes de valores rms y formas de onda para optimizar las configuraciones de la captura de datos.

El modo «**Corriente de Inicio**» determina las características de un sistema durante periodos transitorios, como por ejemplo el arranque de un motor durante el cambio de la impedancia, para un ajuste de su protección o para el mantenimiento preventivo y en la mejora del rendimiento del sistema.

El «**Grabador de fallas**» permite registrar de forma continua y ciclo a ciclo un cortocircuito, la rotura de una línea o la puesta a tierra de un conductor.

En «**Lectura de Tiempo Largo plazo**» se puede monitorear el equipo durante un día completo, una semana o un mes. También este modo entrega un informe estadístico de todos los valores mínimo, medio y máximo requeridos por el usuario.

«**Grabación continua de Data, Energía, Demanda**», este modo registra valores rms y de potencia una vez por segundo sin pérdidas de información.

«**EN 50160, Calidad de Potencia**», en este modo el PX5 monitoriza y registra la calidad de la energía para determinar el grado de cumplimiento de la norma EN50160 con respecto a los parámetros de frecuencia de la red, fluctuaciones de tensión, cambios rápidos de tensión, desequilibrio de la tensión de alimentación, armónicos de tensión, Interarmónicos de tensión, y señales de control de red.

Una vez escogido el modo de monitoreo se puede clicar en «**Siguiente**» para seguir avanzando en la programación del PX5 y llegar a la pantalla de «**Opciones Avanzadas**» que se muestra en la figura 3.11.

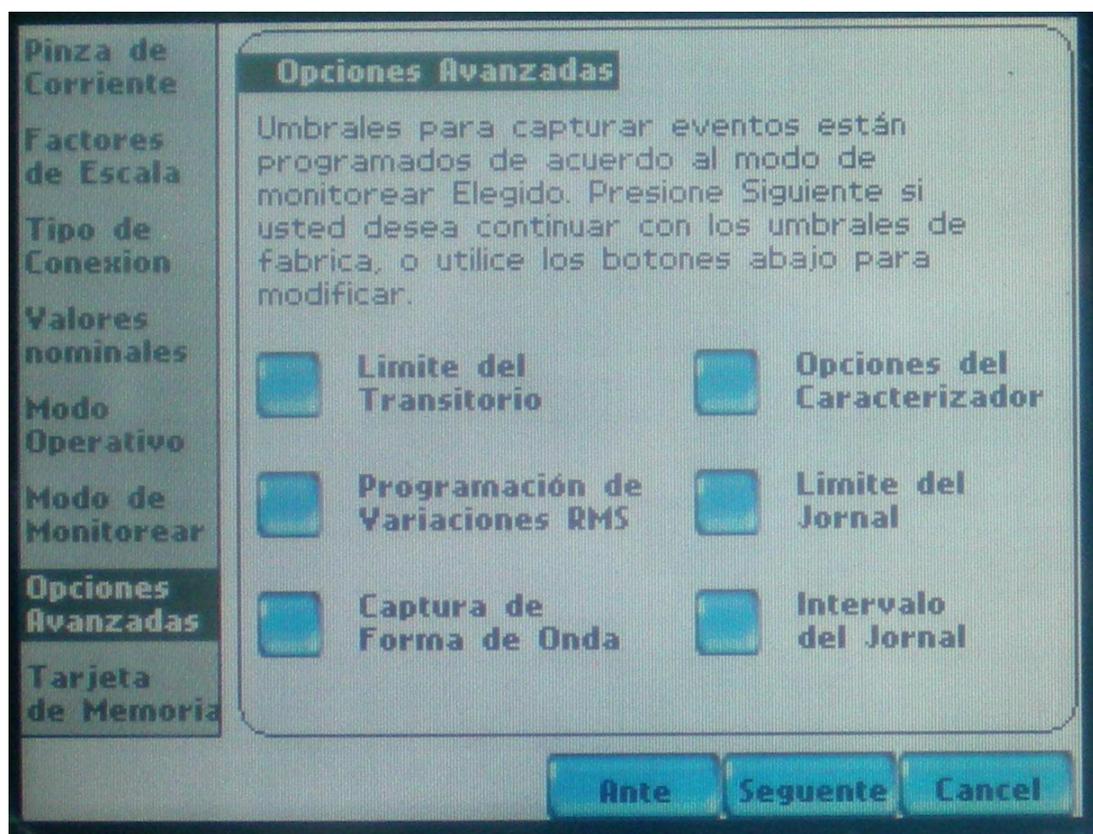


Figura 3.11. Opciones avanzadas.

Después de haber seleccionado el «**Modo de Monitorear**», el sistema está listo para iniciar la monitorización y para el registro de datos en la tarjeta de memoria, pero previamente se pueden aceptar los umbrales de fábrica o modificarlos en; **límites del transitorio, programación de valores RMS, captura de forma de onda, opciones del caracterizador, límite del jornal, intervalo del jornal**. En cualquiera de estas opciones que se aprecian en la figura 3.11, se pueden modificar los umbrales de los parámetros.

Cuando se aceptan los umbrales de fábrica o se modifican, se puede acceder a la pantalla de la tarjeta de memoria en donde se guarda la configuración que se ha realizado.

En la Figura 3.12, se puede visualizar la pantalla «Tarjeta de Memoria», paso donde la configuración realizada se guarda.

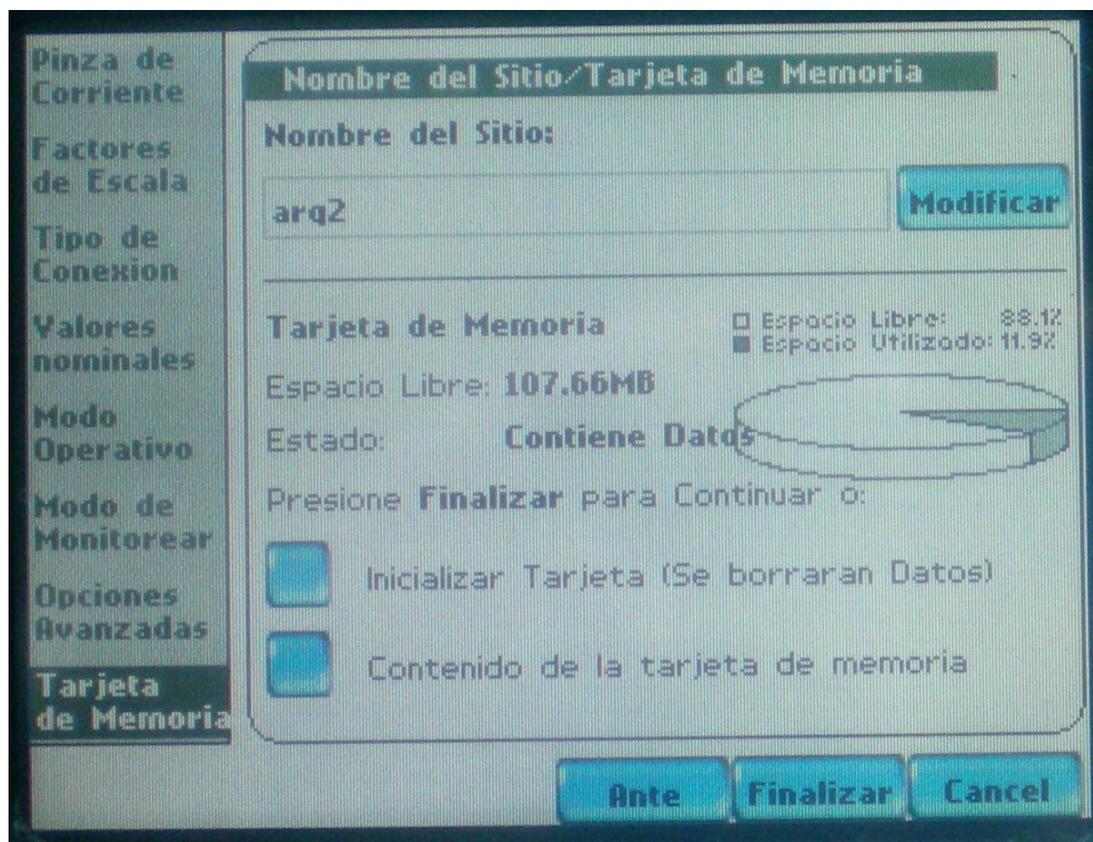


Figura 3.12. Pantalla de la tarjeta de memoria.

El PX5 utiliza una tarjeta de memoria COMPACT FLASH de 32 MB o 128 MB como almacenamiento primario de datos, en donde quedaran registrados los eventos. **En el desarrollo de este seminario se usó una tarjeta de 128 MB.** En la figura 3.12 se puede apreciar claramente el nombre del sitio que se ha guardado anteriormente y que aparece como «arq2», para guardar esta configuración se debe hacer clic en «Modificar» para cambiar el nombre de la configuración. También se visualiza gráficamente el espacio libre y el utilizado de la capacidad total de la tarjeta de memoria. Para visualizar los archivos guardados en la tarjeta de memoria se debe hacer clic en «Contenido de la tarjeta de memoria». Ahora si se desea formatear la tarjeta se debe hacer clic en «Inicializar Tarjeta (Se borrarán Datos)», donde se borrarán todos los datos almacenados en la tarjeta de memoria. Se recomienda antes de «Inicializar», hacer el traspaso de los archivos grabados en la tarjeta de memoria al PC o cualquier otro medio de almacenamiento que sirva como respaldo de la información.

En la Figura 3.13 se aprecia el «**Menú de Monitorear**» después de la pantalla «**Tarjeta de Memoria**», donde se escribió y guardó el nombre de la configuración.

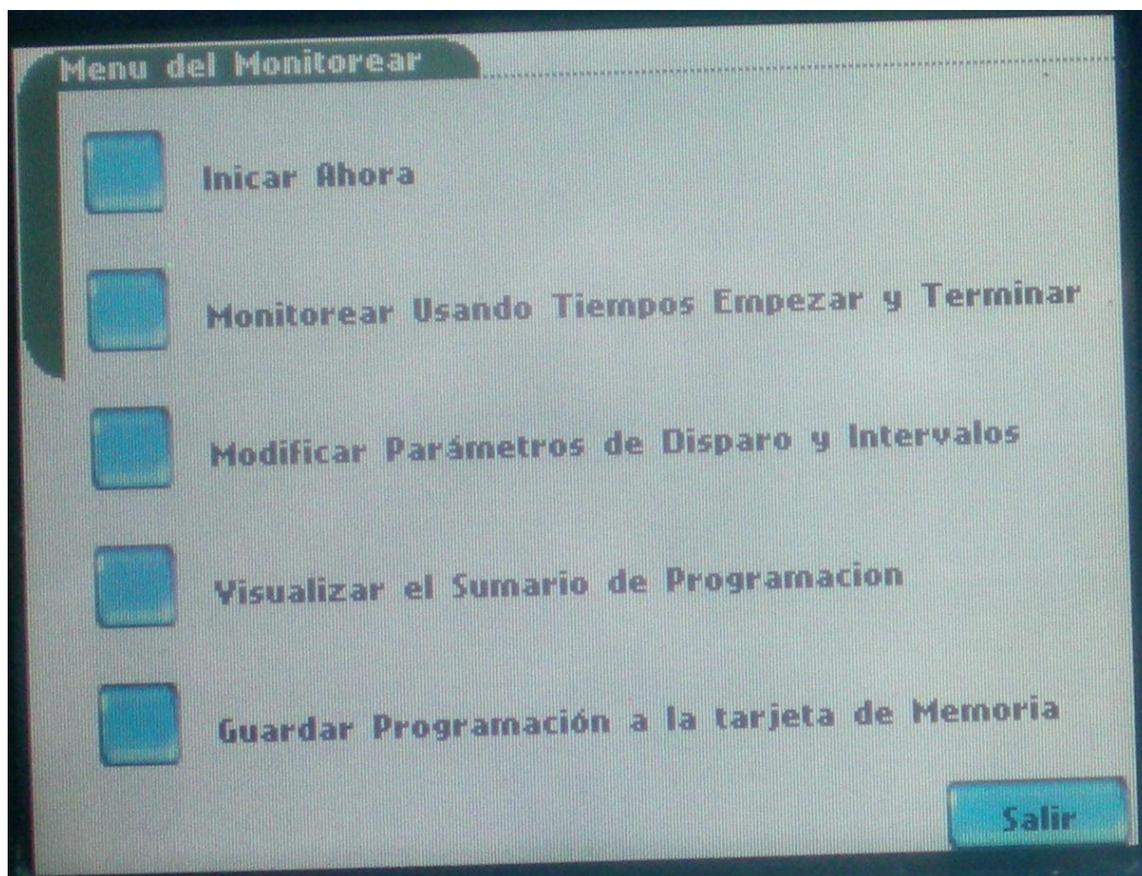


Figura 3.13. Menú de monitoreo.

Ahora el equipo está listo para iniciar el registro de datos y se debe seleccionar uno de los modos de monitoreo que se distinguen en la figura 3.13.

Los modos de monitoreo son «**Iniciar ahora**», «**monitorear usando tiempos empezar terminar**», «**modificar parámetros de disparo y intervalos**», «**visualizar el sumario de programación**» y «**guardar programación a la tarjeta de memoria**». Pero previamente, se debe seleccionar «**guardar programación a la tarjeta de memoria**» para guardar la configuración realizada. Ahora el equipo esta configurado para comenzar con el monitoreo.

A continuación se explicará de forma breve cada uno de estos modos de monitoreo:

**«Iniciar ahora»**; si se selecciona este modo de monitoreo el equipo comienza a registrar de forma inmediata y se detiene cuando el usuario lo estime conveniente.

**«Monitorear usando tiempos empezar terminar»**; este modo le permite al usuario fijar la fecha y la hora de cuando comenzar el monitoreo y cuando terminar.

**«Modificar parámetros de disparo y intervalos»**; desde este modo solo se puede realizar el cambio de algunos parámetros de la pantalla de opciones avanzadas y volver a guardar la configuración de las modificaciones que se realicen.

**«Visualizar el sumario de programación»**; este modo entrega un resumen de los principales parámetros que se ha configurado y sus valores nominales.

**«Guardar programación a la tarjeta de memoria»**; en este modo se accede para guardar la configuración de la tarjeta de memoria como se explicó anteriormente.

Se ha explicado cada uno de los modos de monitoreo, para la medición de los parámetros eléctricos de cada una de las SS/EE. En donde se optó por el modo **«Monitorear usando tiempos empezar terminar»**. Una vez que realizamos esto, el equipo está listo para empezar el monitoreo.

A continuación la figura 3.14, muestra la pantalla en donde el equipo se encuentra registrando.

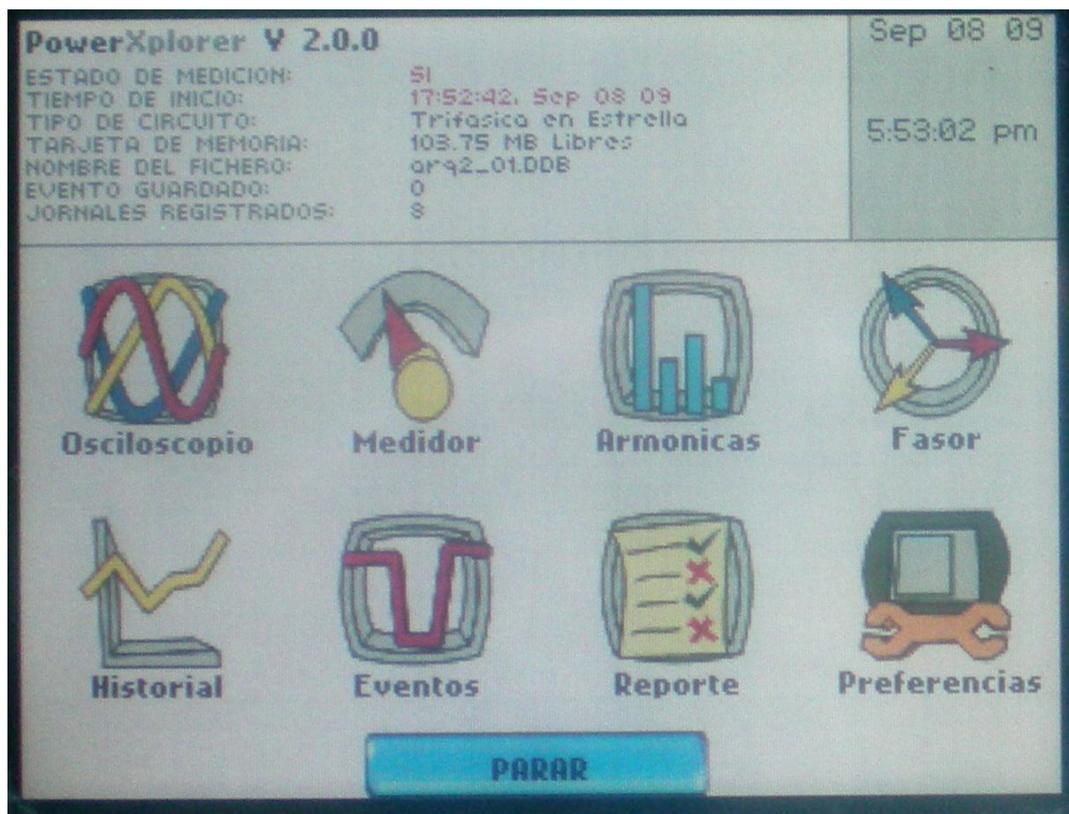


Figura 3.14. Pantalla indicadora de registro.

Esta es la pantalla indicadora de registro, que indica que el equipo efectivamente está registrando. Para saber si el equipo está registrando se debe poner atención en el estado de medición que aparece en el lado superior izquierdo de la pantalla principal. Si el equipo está por comenzar la medición aparecerá en estado de medición la palabra «armado» y si está registrando aparecerá «si».

También aparecen otros datos importantes como; el tiempo de inicio, el tipo de circuito, la tarjeta de memoria, nombre del fichero, eventos guardados y jornales registrados.

**Nota:** Toda la explicación de la programación del PX5, esta realizada de manera muy resumida, con el único fin de explicar la forma de configuración del equipo de la manera más fácil posible. Si se quiere averiguar más del PX5 se recomienda solicitar el manual, en el pañol de la Universidad del Bío – Bío.

## 3.2 DRAN VIEW 6.0

El software Dran-View 6.0 de la marca DRANETZ es adecuado para la obtención de los datos almacenados en la tarjeta de memoria del equipo PX5. Para poder utilizar el software es necesario utilizar una «llave» que se inserta en el puerto USB antes de abrir el software. Este hardware tipo «pendrive» es la licencia de autenticidad de software. El software lee los archivos de extensión «.DBB» por el PX5.

Con el software es posible visualizar por medio de gráficas toda la información configurada en el equipo para la medición y así analizar información como las formas de onda, demanda en el tiempo y normalización de voltaje, corriente, potencia, etc. Además, analiza la calidad de energía eléctrica, siendo adecuado para analizar el nivel de contaminación armónica por fase y en el neutro.

El Software entrega la principal información para aplicar la normativa en las mediciones registradas, ya que para este trabajo interesa encontrar la distorsión total de armónicas, en corriente (THDI) y voltaje (THDV). También interesa visualizar las armónicas individuales por medio del espectro armónico y encontrar la armónica dominante. Por otro lado, el Software entrega información como el diagrama fasorial, herramienta útil al momento de tener la certeza que las fases medidas fueron las correctas en todos los tableros de cada una de las SS/EE medidas, siguiendo un mismo orden.

La función demo muestra, los datos que se podrían obtener en una medición real, con una previa programación del PX5, de acuerdo a la finalidad que tenga el usuario.

### 3.2.1 Menú Principal

En el menú principal del software se visualizan las formas de onda almacenadas (voltaje, corriente), los eventos grabados durante el periodo de medida y las características de las cargas en el tiempo en voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, índices de contaminación armónica, etc.

A continuación se muestra en la figura 3.15, la pantalla principal, esta pantalla aparece solamente cuando se han cargado los datos desde la tarjeta de memoria.

Como se puede visualizar la pantalla principal cuenta de dos ventanas, separadas por una línea divisora, la ventana de la izquierda muestra la gráfica de tiempo y la ventana de la derecha muestra los detalles de los eventos en forma de lista y las formas de onda de cada canal.

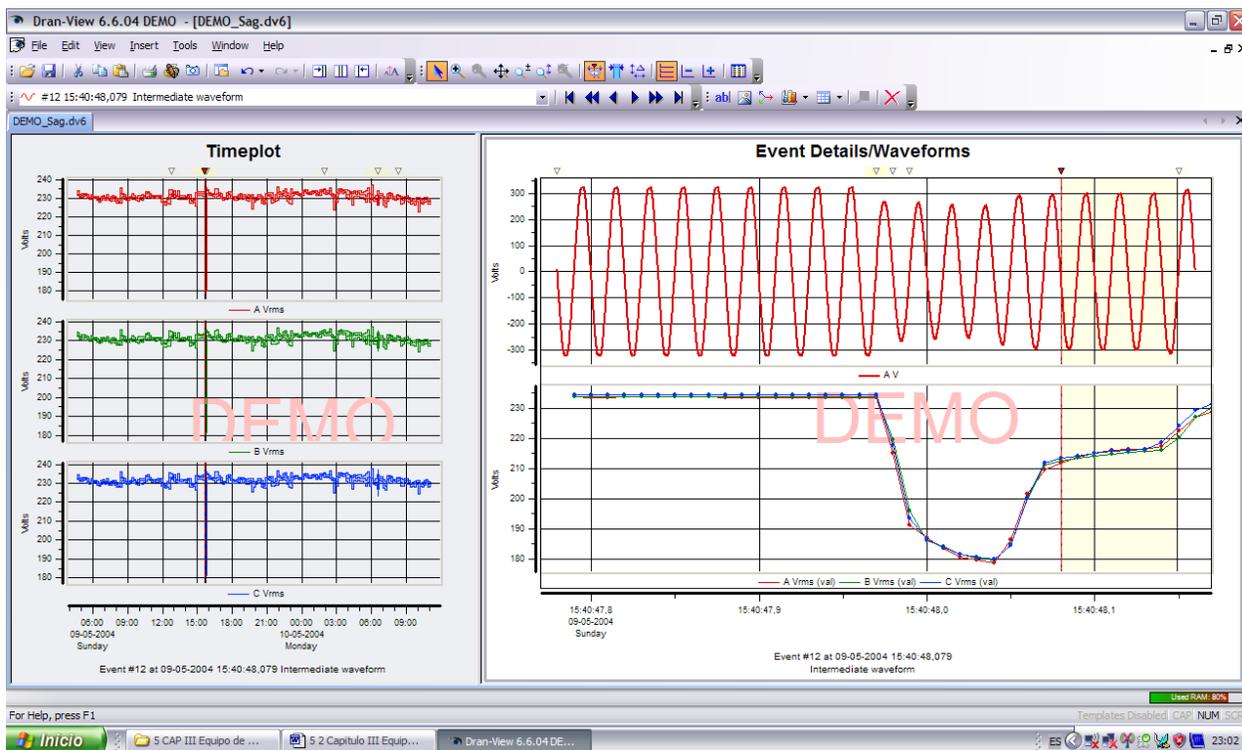


Figura 3.15, pantalla principal.

La línea divisora de las ventanas se puede desplazar hacia la derecha o hacia la izquierda permitiendo agrandar cualquiera de las dos ventanas, el desplazamiento se logra posesionando el cursor del mouse encima de la línea vertical y haciendo clic para arrastrarla al lado que se desee ampliar la pantalla. Esta función también aparece en la barra de herramientas, que es posible visualizar en la parte superior de la pantalla principal.

A continuación se muestra la figura 3.16, en donde se ha desplazado la línea divisora a la derecha para ampliar la ventana de los eventos y formas de onda.

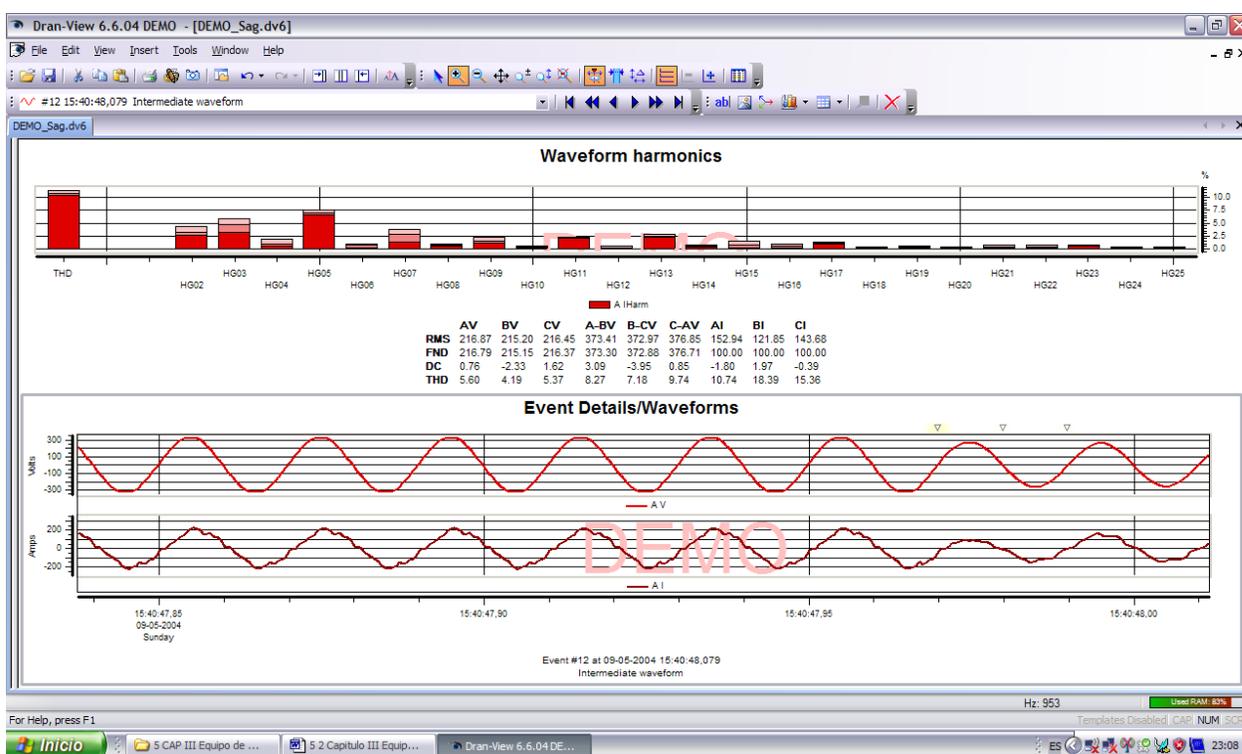


Figura 3.16, desplazamiento de la línea divisora.

### 3.2.2 Ventanas Emergentes

Una vez que se ha familiarizado con el funcionamiento del programa, es la hora de comenzar a indagar sobre los datos que podrían entregar estas ventanas de las cuales se ha hablado. Es entonces cuando aparecen las ventanas emergentes.

La primera ventana emergente muestra las propiedades del gráfico de los eventos registrados y formas de onda, esta ventana es posible visualizar haciendo doble clic encima de la gráfica de las formas de onda y aparece en pantalla la carta de propiedades que se aprecia en la figura 3.17, en esta carta de propiedades se encuentra una amplia variedad de datos que se obtienen en una medición real.

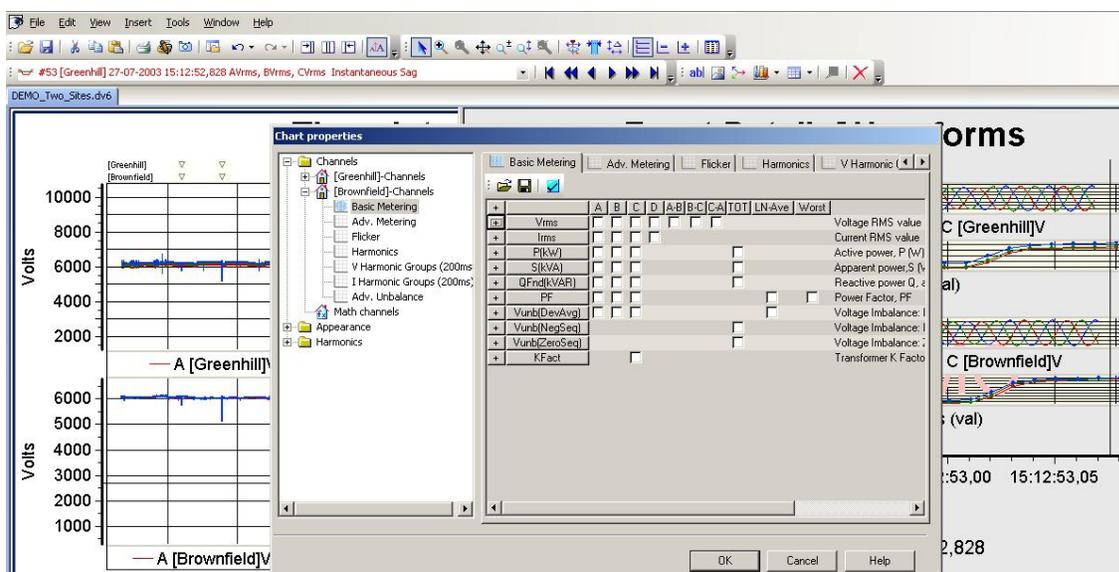


Figura 3.17, ventana emergente de las propiedades del gráfico.

La segunda ventana emergente muestra la gráfica con respecto al tiempo de los valores de corriente, voltaje y potencia, cada cierto intervalo de tiempo. Esta ventana se visualiza haciendo doble clic encima de la gráfica del tiempo, y muestra los valores registrados de cada canal, como se aprecia en la figura 3.18.

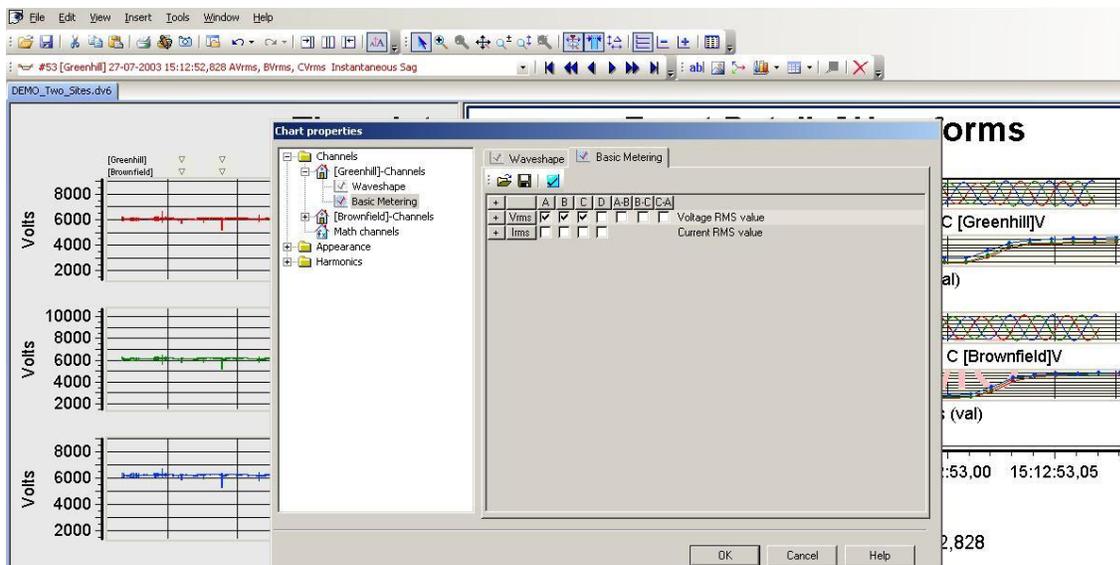


Figura 3.18, ventana emergente del gráfico del tiempo.

## CAPÍTULO IV

### MEDICIONES Y ANÁLISIS NORMATIVO

## 4 MEDICIONES Y ANÁLISIS NORMATIVO

### 4.1 MEDICIONES

#### 4.1.1 Aspectos Generales

Las configuraciones de todos los secundarios de los transformadores están en **estrella**, donde se midió **voltaje (fase | neutro) y corriente de fase**. Además se mide en el conductor neutro, **voltaje (neutro | tierra) y corriente**. Por tanto, Voltaje y corriente son las variables de entrada para que el instrumento de medida pueda visualizar Potencia, Factor de potencia, Calidad de Energía y comparando datos con normas internacionales pregrabadas en el equipo.

El equipo de Mediciones se debe adecuar a las configuraciones tipo del sistema eléctrico (en estrella). Para la medición, este se realiza en el lado de baja tensión BT de los transformadores donde hay un voltaje nominal de 400 Volts (línea | línea) y 220 Volts (línea | neutro), aguas abajo del interruptor principal BT. En el Tablero de Distribución al conectar las puntas de prueba del equipo con la red eléctrica se procura conectar primero la tierra.

Para realizar un proceso estadístico se debe tener como mínimo el rango de medida que recomienda la norma americana IEEE 519. Esta consiste en un periodo de medida de una semana de 7 días consecutivos a intervalos de 10 minutos. Las mediciones efectuadas en este seminario consisten en **un día por transformador** y tienen como horario de medición desde las 09:00 AM hasta las 17:00 PM desde el 31 de Agosto al 9 de Septiembre del 2009.

La determinación de los puntos de medición esta relacionada con las cargas conectadas, ya que puede haber una posible polución armónica en donde existan cargas con emisión armónica. La especificación de cargas conectadas en los transformadores de la UBB son difíciles de determinar con certeza. Con lo anterior fue posible determinar los transformadores que alimentaban principalmente equipos informáticos y otros que alimentaban cargas que utilizaban equipos de contaminación armónica. En consecuencia, en ausencia de especificación de cargas conectadas a los transformadores, se determinó realizar mediciones en todos los transformadores que pudieran presentar problemas con polución armónica. Este criterio adoptado es en base al tipo de carga que alimentaban los transformadores y a la potencia conectada que presentaban.

### 4.1.2 Configuración de Equipo de Medición

El equipo consta de 4 canales de entrada. Cada canal tiene una entrada de voltaje, una entrada de corriente y el común neutro. Las **puntas de medición** de voltaje se conectan una en cada una de las 3 fases y otra que es para el voltaje en el neutro (neutro | tierra) (Fig. 4.1). Para la corriente se uso **tenazas de corriente**, una en cada conductor fase y en el neutro, las puntas de corriente determinan la cantidad de corriente que circula por inducción. También se verifico la correspondencia en el orden de las fases mediante el diagrama fasorial (Fig. 4.2).

Para iniciar la medición se debe crear un archivo de extensión **“.DDB”** en una memoria extraíble de 128 MB, ahí el equipo grabará los eventos medidos a intervalos configurados con anterioridad. Este archivo es extraído del equipo (memoria extraíble) y leído por el software *Dran-View 6*, donde es posible visualizar todos los eventos grabados (a intervalos de 10 min.) en forma gráfica las formas de onda, espectro armónico, diagrama fasorial y lo necesario para el análisis de armónicos.

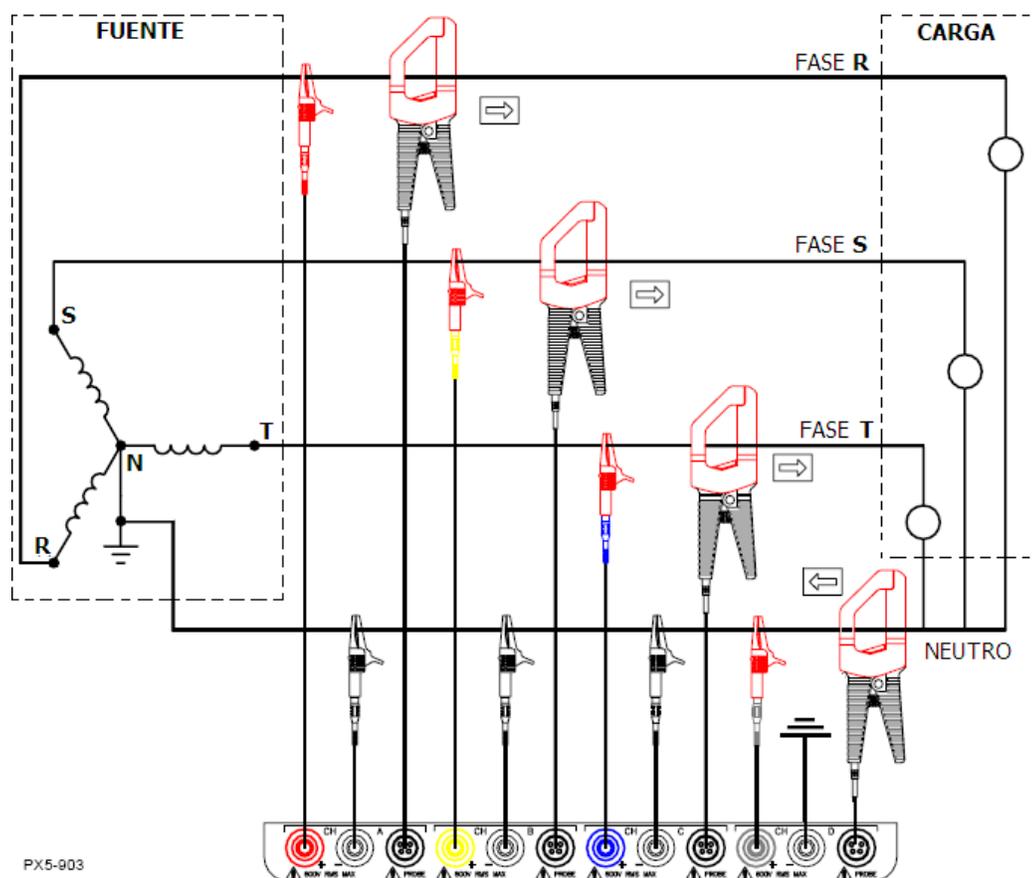


Fig. 4.1: Conexión del PX5 en Tablero.

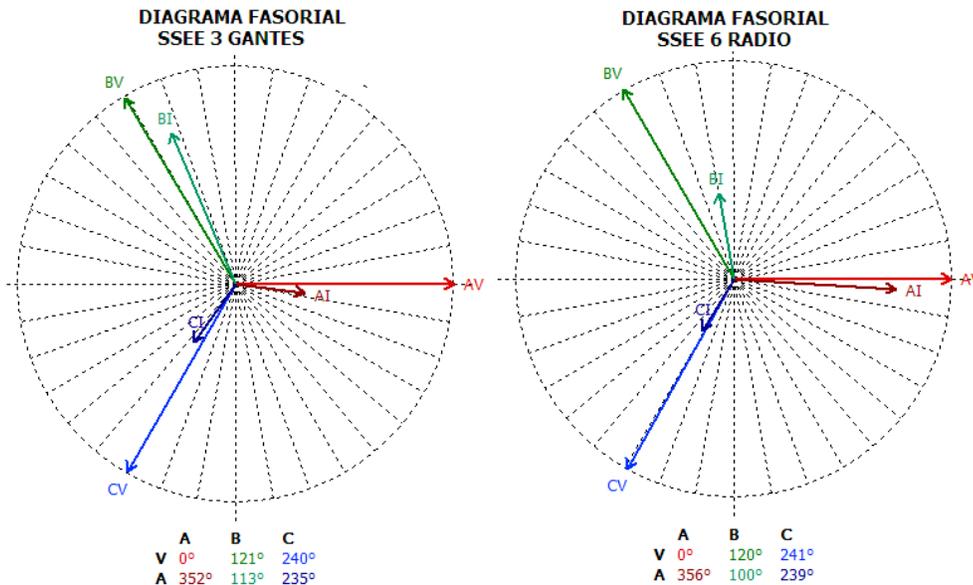


Fig. 4.2: Diagramas fasoriales de 2 mediciones.

### 4.1.3 Variables Registradas.

El equipo de medición registra los valores de corriente y voltaje por cada fase. Además se registra una muestra de corriente y tensión en el neutro. En base a todo lo anterior, se registran las variables restantes de interés para el estudio (Potencia, Factor de potencia, índices de distorsión armónica, corrientes y voltajes armónicos, etc.).

En la UBB principalmente el equipo se configuró para registrar:

- 1) Voltaje RMS y Corriente RMS por fase, en cada SS/EE.
- 2) Voltaje y corriente RMS en el neutro.
- 3) Factor de Potencia.
- 4) Potencia Activa, Reactiva y Aparente trifásica.
- 5) Índices de Distorsión Armónica (THDI y THDV) hasta armónica 50.
- 6) Sobretensiones Transitorias y todo valor que ayude a decidir en mejorar la calidad de energía.
- 7) Capturas de formas de onda con registros de armónicos individuales hasta armónica 25.

## 4.2 MEDICIONES POR FASE

### 4.2.1 Rango de Corrientes y Voltajes por fase

Las mediciones de corrientes registradas obedecen a las cargas que el tablero tiene conectado. De estas mediciones es posible apreciar un desbalance de cargas en las fases debido a inestabilidad en los procesos de cada fase, así las corrientes por cada fase no son equilibradas (Ver TABLA 4.1). Como consecuencia se incrementa la corriente en el neutro, además aparecen corrientes armónicas triples circulantes. El voltaje al que se conectan las cargas está dentro de la normativa (Ver TABLA 4.2).

TABLA 4.1  
CORRIENTES POR FASE

SS/EE	Corriente Media [A]			Corriente Mínima [A]			Corriente Máxima [A]		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
<b>1</b>	170,92	225,93	306,14	132,6	174,1	273,4	192,3	241,1	395,3
<b>2A</b>	109,75	41,17	38,57	56,08	34	29,31	118,5	43,84	56,11
<b>2B</b>	61,72	26,33	5,09	37,84	13,65	4,503	68,34	29,18	7,328
<b>3</b>	103,52	237,1	103,52	87,45	204,5	88,1	147,7	342	154,4
<b>5</b>	162,2	136,16	125,16	157,4	106,6	112	213,2	144,9	131,5
<b>6</b>	63,04	33,02	23,523	51,47	32,25	18,54	143,6	78,26	63,36
<b>7</b>	30,09	20,35	25,3	28,15	16,71	17,85	185,7	84,89	95,18
<b>8</b>	10,21	7,42	40,22	6,354	2,731	26,3	99,23	84,89	60,09

Los valores son RMS.

TABLA 4.2  
VOLTAJES (FASE | NEUTRO)

SS/EE	Voltaje Medio [V]			Voltaje Mínimo [V]			Voltaje Máximo [V]		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
<b>1</b>	226,77	223,55	227,28	221,4	219,6	221,9	227,9	225,8	228,7
<b>2A</b>	223,04	224,11	223,21	220,5	221,4	221,7	225,4	226,8	226,9
<b>2B</b>	223,62	222,61	221,68	220,5	220	219,1	225,1	224,4	223,4
<b>3</b>	224,37	222,2	221,99	219,9	218,3	218,4	227,5	225,7	225,8
<b>5</b>	225,15	226,73	226	222,7	225,3	224,8	225,8	228,5	227,7
<b>6</b>	225,72	226,41	225,91	223,2	224,3	223,9	228,2	229,6	229,3
<b>7</b>	225,6	224,17	225,5	220,3	219,6	221,2	227,5	226,5	228,2
<b>8</b>	226,24	226,42	225,79	224,4	225,3	224,8	230,9	232,4	231,4

Los valores son RMS.

Con las mediciones de corrientes por fase registradas, ahora se puede conocer el porcentaje de carga de cada transformador (Ver Tabla 4.3). Los transformadores en general no están sobrecargados ya que tienen valores en torno al 20% al 50% de la carga nominal. Los porcentajes mayores están en torno a la mitad de la carga nominal como la SS/EE 1 y el Tablero 2A de la SS/EE 2.

TABLA 4.3  
PORCENTAJE DE CARGA

SSEE	Potencia Nominal [kVA]	Corriente Nominal [A]	Corriente máxima de Carga Prom. [A]	Porcentaje de Carga %
<b>1</b>	400	578	276,2	47,78
<b>2A</b>	200	144,5	72,8	50,38
<b>2B</b>	200	144,5	34,95	24,18
<b>3</b>	500	722,54	214,7	29,71
<b>5</b>	400	578,03	163,2	28,23
<b>6</b>	300	433,52	95,07	21,93
<b>7</b>	300	433,52	121,92	28,12
<b>8</b>	200	289,01	81,4	28,16

#### 4.2.2 Rango de Potencia Activa

Las mediciones de Potencia Activa registradas obedecen a las cargas que el tablero tiene conectada (Ver TABLA 4.4).

TABLA 4.4  
POTENCIA ACTIVA POR FASE

SS/EE	Potencia Media [kW]			Potencia Mínima [kW]			Potencia Máxima [kW]		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
<b>1</b>	35,22	45,43	70,21	28,94	38,37	60,21	41,53	51,69	85,89
<b>2A</b>	22,23	8,22	7,09	8,623	7,434	6,463	25,78	9,5	10,32
<b>2B</b>	11,83	3,01	1,02	8,18	2,467	0,9593	14,71	6,154	1,42
<b>3</b>	25,22	60,32	23,27	18,95	44,81	19,34	32	72,93	34,16
<b>5</b>	40,63	25,22	28,75	33,99	24,6	23,48	45,49	28,43	31,82
<b>6</b>	15,46	10	6,34	11,5	6,784	4,14	19,3	11,82	7,392
<b>7</b>	10,48	9,88	10,37	6,145	3,168	3,2	15,89	13,45	13,5
<b>8</b>	5,85	8,99	9,21	0,4049	0,2533	5,885	8,418	13,14	10,61

### 4.2.3 Índices de Distorsión Armónica THD de Corriente y Voltaje

El THD es el principal índice para analizar cuantitativamente el nivel de contaminación armónica. Las armónicas de corriente son las que producen principalmente las armónicas de voltaje, así el índice de contaminación armónica también es en voltaje. En la UBB se midieron los niveles de contaminación THDI y THDV (Ver TABLA 4.5).

TABLA 4.5  
ÍNDICES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA

SS/EE	THD I			THD V		
	% FUNDAMENTAL			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
<b>1</b>	11,99	10,71	13,51	4,1	4,34	3,81
<b>2A</b>	21,37	20,26	17,51	4,25	3,94	3,8
<b>2B</b>	28,95	22,62	21,4	4,1	3,92	4,3
<b>3</b>	18,36	12,03	10,97	4,46	4,57	5,02
<b>5</b>	18,08	19,33	22,73	4,19	3,64	3,89
<b>6</b>	9,06	15,8	10,85	3,89	3,56	3,83
<b>7</b>	21,07	22,5	16,63	4,13	4,52	4,3
<b>8</b>	63,92	33,87	15,53	3,22	2,87	3,21
<b>Prom.</b>	24,1	19,64	16,14	4,0425	3,92	4,02

Peores índices: THDI: SSEE 2 y 8 .THDV: SSEE 3 y 7.

**THDI:** Los principales índices de THDI se presentan la SSEE 2 (2A y 2B) que pertenece a la FACE, donde la mayoría de las cargas son informáticas. También presenta un alto índice la SSEE 8 que alimenta a la Escuela de Diseño, la fase R y T presentan los índices mayores con 63,92% y 33,87 respectivamente.

**THDV:** Los niveles de contaminación en general están cercanos al 4%. Se aprecia que los índices predominantes están en la SSEE 3 que alimenta al Edificio Gantes y la SSEE 7 que alimenta a CATEM y FONDEF.

### 4.2.4 Formas de Onda

Las mediciones registradas muestran ondas de voltaje sinusoidales en donde es posible apreciar un poco de **achatamiento**, esto producto de la presencia de armónicas. Las ondas que presentan los mayores índices de distorsión son las que se muestran en las Fig. 4.3 y 4.4.

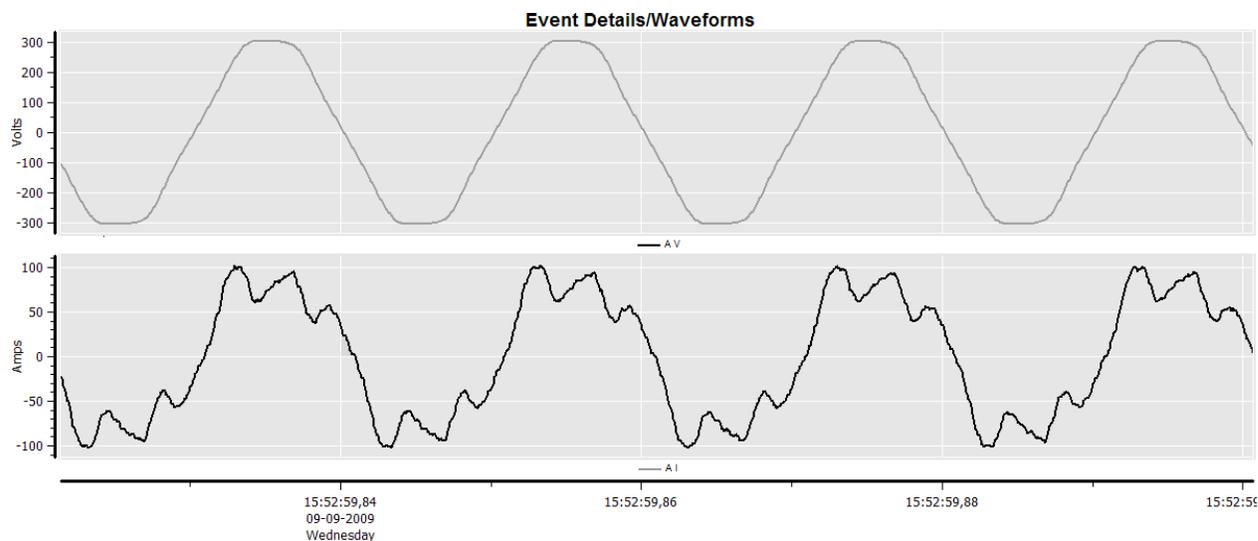


Fig. 4.3: Fase R de la SSEE 2 FACE (2B), presenta un THDI de 28,946%.

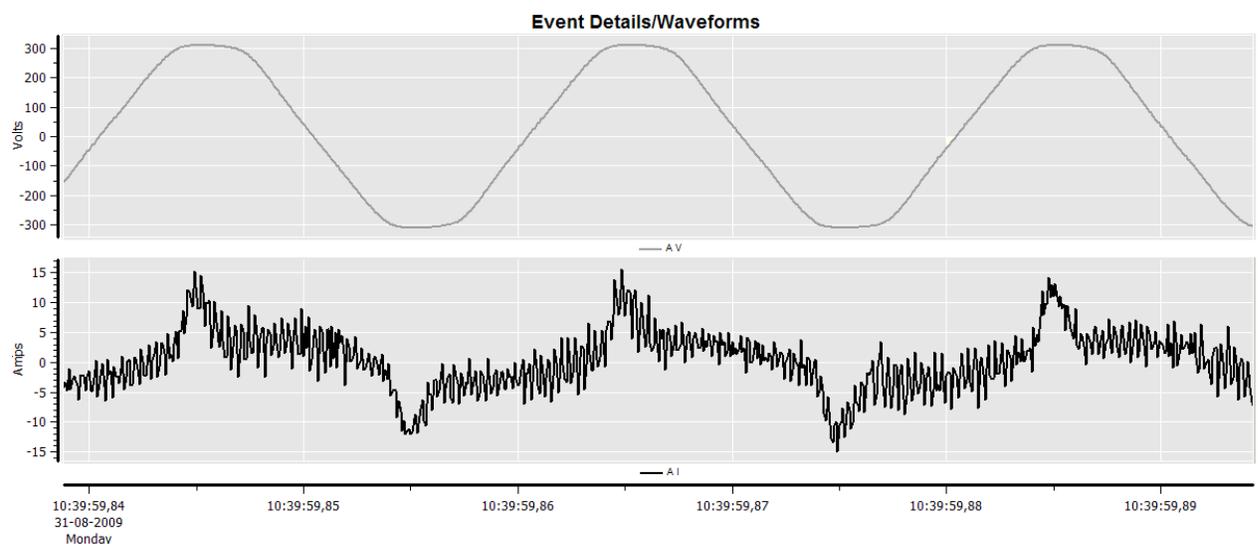


Fig. 4.4: Fase R de la SSEE 8 DISEÑO, presenta un THDI de 63,92%.

### 4.2.5 Armónicas individuales de Corriente

Las Armónicas individuales son el desglose del THD mostrado por fase desde la armónica 3 a la 25, en Amperes y en porcentaje de cada armónica con respecto al valor fundamental (Ver TABLAS 4.6 a 4.10).

Las mediciones mostradas corresponden a las que presentaron el más alto índice de distorsión de THDI. Las SSEE que califican son SSEE 2 (2A y 2B), SSEE 5, SSEE 7 y SSEE 8. Las SS/EE restantes aparecen con detalle en los anexos.

TABLA 4.6  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES SSEE 2 (2A)

Numero Armónica	Amperes			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
1	107,32	40,35	37,99	1	1	1
3	19,94	7,3	5,523	0,186	0,18	0,1454
5	10,192	3,1	3,11	0,095	0,077	0,082
7	3,166	1,55	1,54	0,0295	0,039	0,0405
9	2,65	0,47	0,316	0,0246	0,012	0,0083
11	2,09	0,84	0,88	0,0195	0,021	0,0232
13	0,764	0,306	0,35	0,0071	0,0076	0,0093
15	1,1	0,11	0,24	0,0102	0,003	0,0062
17	0,34	0,13	0,13	0,0031	0,0032	0,0034
19	0,13	0,256	0,26	0,0012	0,0064	0,007
21	0,432	0,133	0,04	0,004	0,0033	0,001
23	0,144	0,12	0,23	0,0014	0,003	0,006
25	0,06	0,1	0,06	0,0006	0,0025	0,0016

SSEE pertenece a Empalme E1.

TABLA 4.7  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES SSEE 2 (2B)

Numero Armónica	Amperes			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
1	65,2	28,245	5,46	1	1	1
3	12	3,63	1	0,185	0,128	0,182
5	12,85	4,86	0,3	0,197	0,172	0,05
7	5	1,34	0,1	0,077	0,0473	0,02
9	3,6	0,42	0,1	0,055	0,015	0,018
11	1,92	0,85	0,12	0,03	0,03	0,022
13	0,96	0,4	0,065	0,0147	0,0145	0,012
15	0,525	0,22	0,063	0,008	0,0077	0,0115
17	0,262	0,12	0,043	0,004	0,0042	0,008
19	0,734	0,545	0,06	0,011	0,02	0,01
21	0,086	0,23	0,05	0,0013	0,008	0,009
23	0,16	0,13	0,045	0,0024	0,005	0,008
25	0,155	0,135	0,034	0,0024	0,005	0,0063

SSEE pertenece a empalme E1

TABLA 4.8  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES SSEE 5

Numero Armónica	Amperes			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
1	159,61	133,7	122,05	1	1	1
3	24,26	22,5	23,4	0,152	0,168	0,1916
5	13,33	10,845	11	0,084	0,081	0,0902
7	6,844	5,5	8	0,043	0,041	0,0656
9	1,09	2,3	3,1	0,007	0,017	0,0253
11	2,95	1,9	3,5	0,0185	0,0141	0,0287
13	1,85	1,4	2	0,0116	0,0105	0,0164
15	0,722	0,8	1,06	0,0045	0,006	0,0087
17	0,73	0,73	0,44	0,0046	0,0055	0,004
19	1,15	0,54	1,6	0,0072	0,004	0,013
21	0,456	0,07	0,74	0,003	0,0005	0,0061
23	0,53	0,16	0,37	0,0033	0,0012	0,003
25	0,34	0,064	1,31	0,0021	0,0005	0,0107

TABLA 4.9  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES SSEE 7

Numero Armónica	Amperes			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
1	32,37	21,82	27,44	1	1	1
3	5,36	3,53	2,53	0,1657	0,162	0,0924
5	1,5	0,462	2,94	0,0464	0,0211	0,107
7	1,87	1,54	1,24	0,0577	0,07	0,0452
9	1,96	2	1	0,06	0,0872	0,037
11	0,455	0,7	0,6	0,014	0,0311	0,0213
13	0,37	0,54	0,23	0,0113	0,025	0,0083
15	0,62	0,86	0,54	0,0193	0,039	0,02
17	0,2	0,29	0,23	0,0062	0,0133	0,0086
19	0,16	0,17	0,12	0,005	0,008	0,0043
21	0,24	0,15	0,23	0,0073	0,007	0,0083
23	0,2	0,14	0,1	0,0061	0,0066	0,004
25	0,13	0,12	0,06	0,004	0,006	0,0021

TABLA 4.10  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES SSEE 8

Numero Armónica	Amperes			% FUNDAMENTAL		
	R	S	T	R	S	T
1	3,883	6,934	18,441	1	1	1
3	1,71	1,63	2,02	0,4414	0,236	0,11
5	1,2	1,25	1,53	0,312	0,18	0,083
7	0,9	0,85	1,02	0,2303	0,1232	0,0553
9	0,6	0,5	0,51	0,148	0,0708	0,028
11	0,3	0,26	0,26	0,078	0,037	0,0143
13	0,15	0,23	0,26	0,0404	0,033	0,0145
15	0,17	0,18	0,22	0,045	0,026	0,0122
17	0,13	0,12	0,14	0,0344	0,0176	0,0075
19	0,1	0,06	0,07	0,026	0,0087	0,0037
21	0,1	0,04	0,08	0,0251	0,0064	0,0045
23	0,05	0,06	0,07	0,015	0,0087	0,0038
25	0,07	0,05	0,05	0,018	0,008	0,003

### 4.2.6 Espectro Armónico de Corriente

El espectro Armónico representa gráficamente en porcentaje el valor de cada armónica con respecto al valor fundamental y también se visualiza la armónica dominante. Los espectros mostrados son de acuerdo a las SSEE que presentaron los valores de THDI más sobresalientes (Fig. 4.5 a la 4.11).

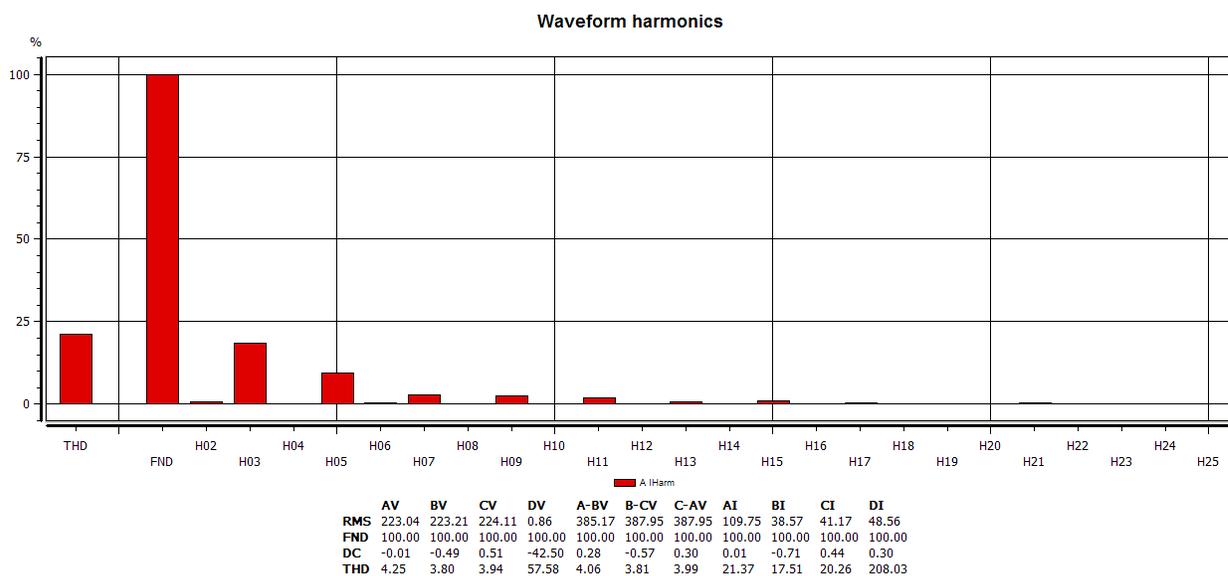


Fig. 4.5: Fase R, SSEE 2, Tablero 2A. Tiene un THDI de 21,37% y la armónica dominante es la H03

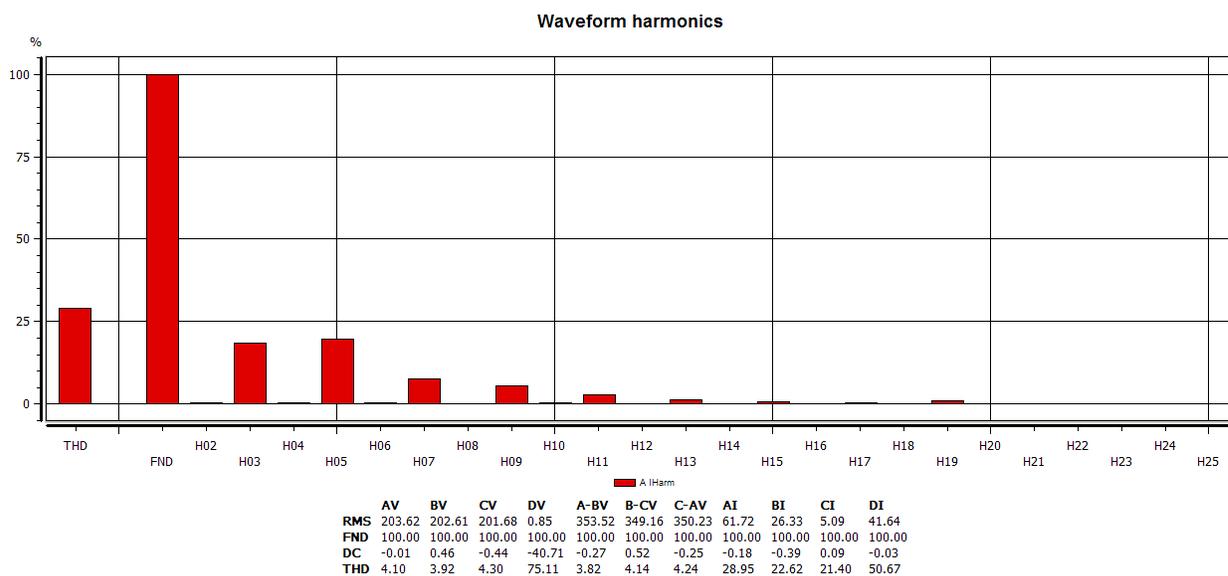


Fig. 4.6: Fase R, SSEE 2, Tablero 2B. Tiene un THDI de 28,95% y las armónicas dominantes H03 y H05.

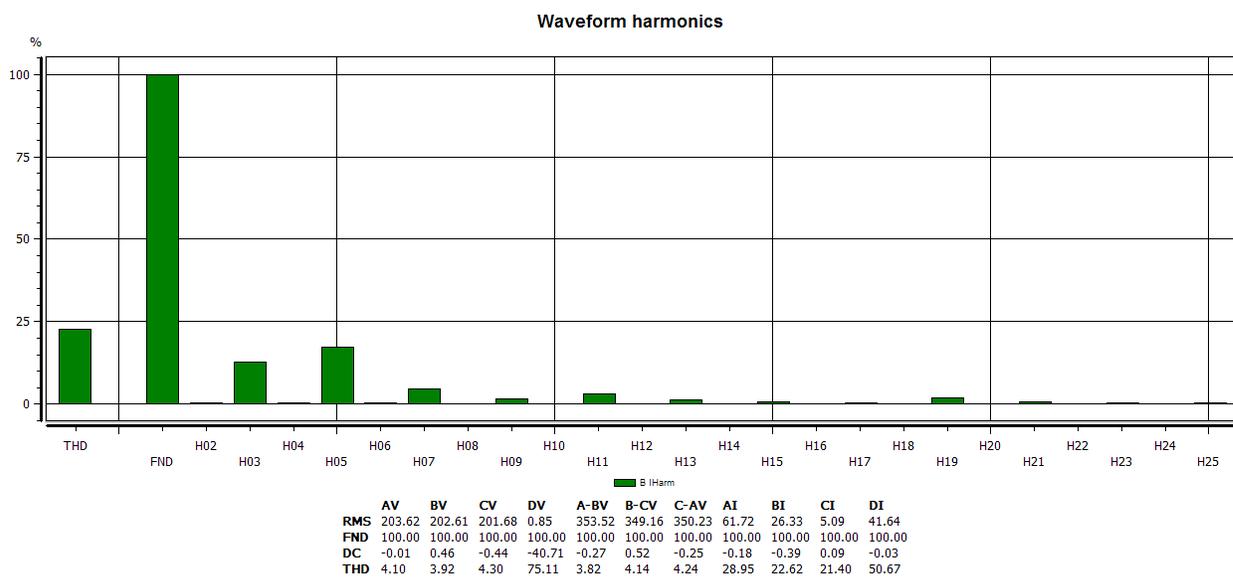


Fig. 4.7: Fase S, SSEE 2, Tablero 2B. Tiene un THDI de 22,62% y la armónica dominante es H05.

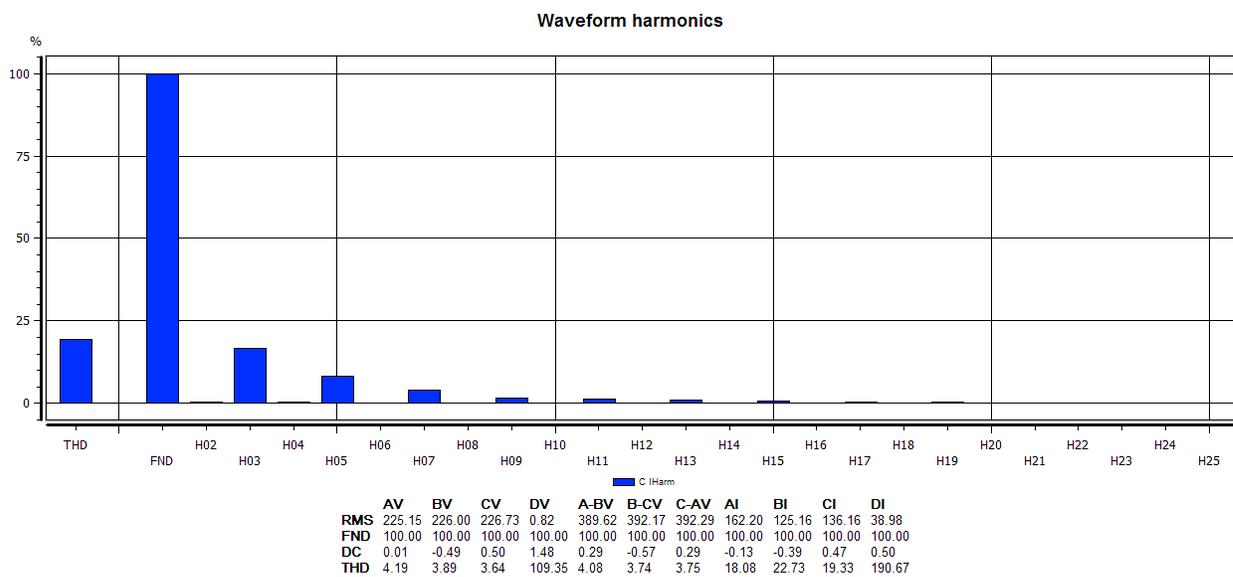


Fig. 4.8: Fase T, SSEE 5. Tiene un THDI de 22,73% y la armónica dominante es H03.

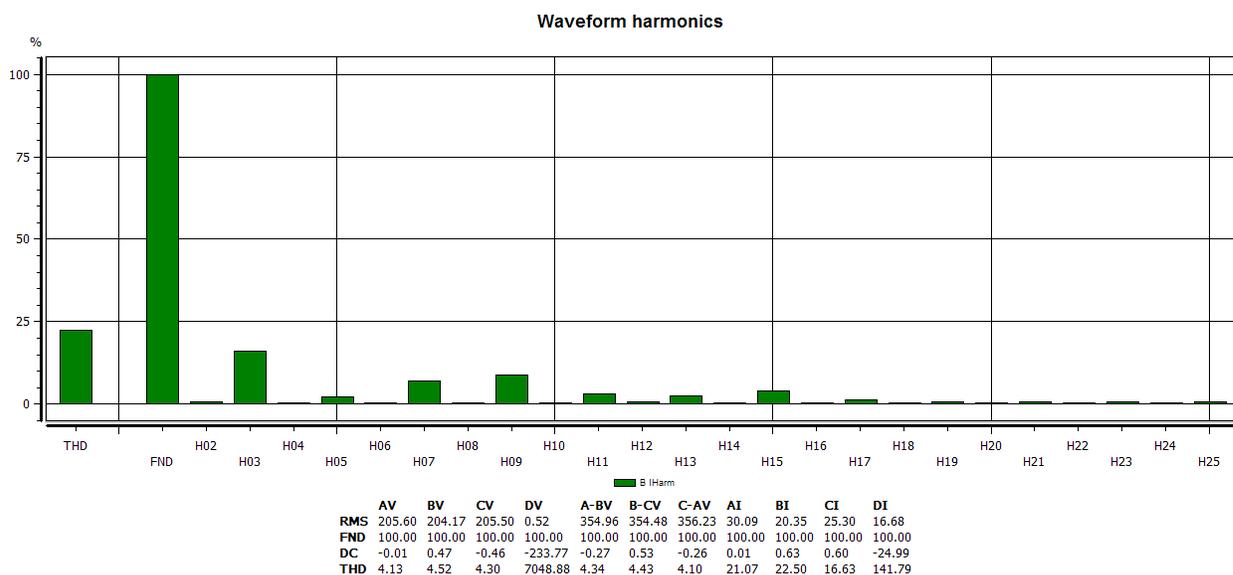


Fig. 4.9: Fase S, SSEE 7. Tiene un THDI de 22,5% y la armónica dominante es H03, le sigue H09.

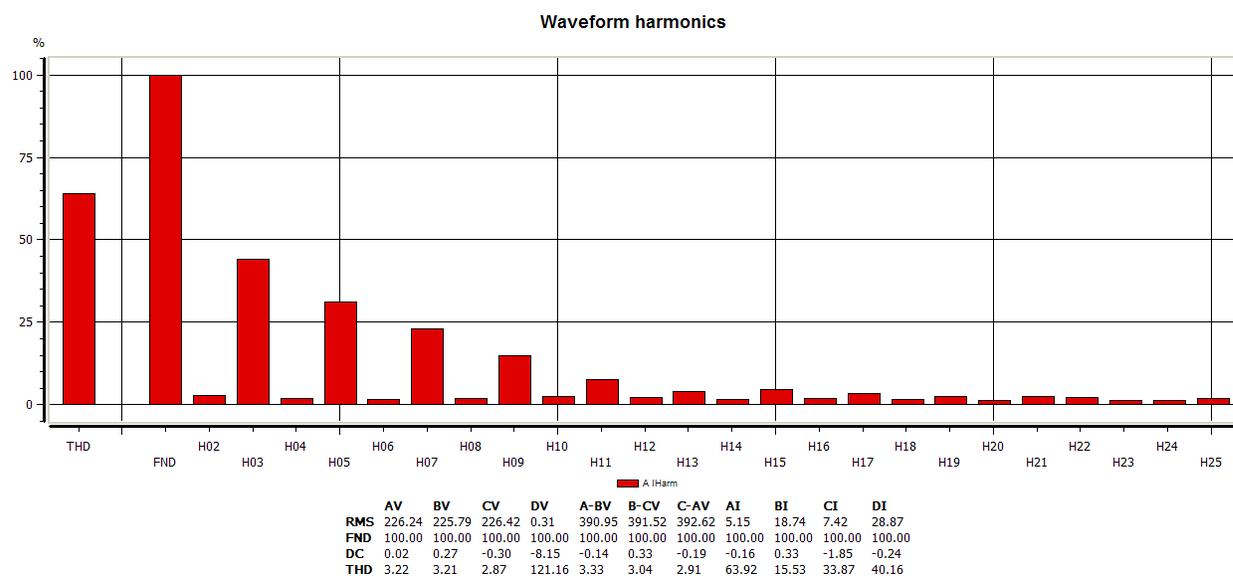


Fig. 4.10: Fase R, SSEE 8. Tiene un THDI de 63,92% y la armónica dominante es H03, le sigue H05.

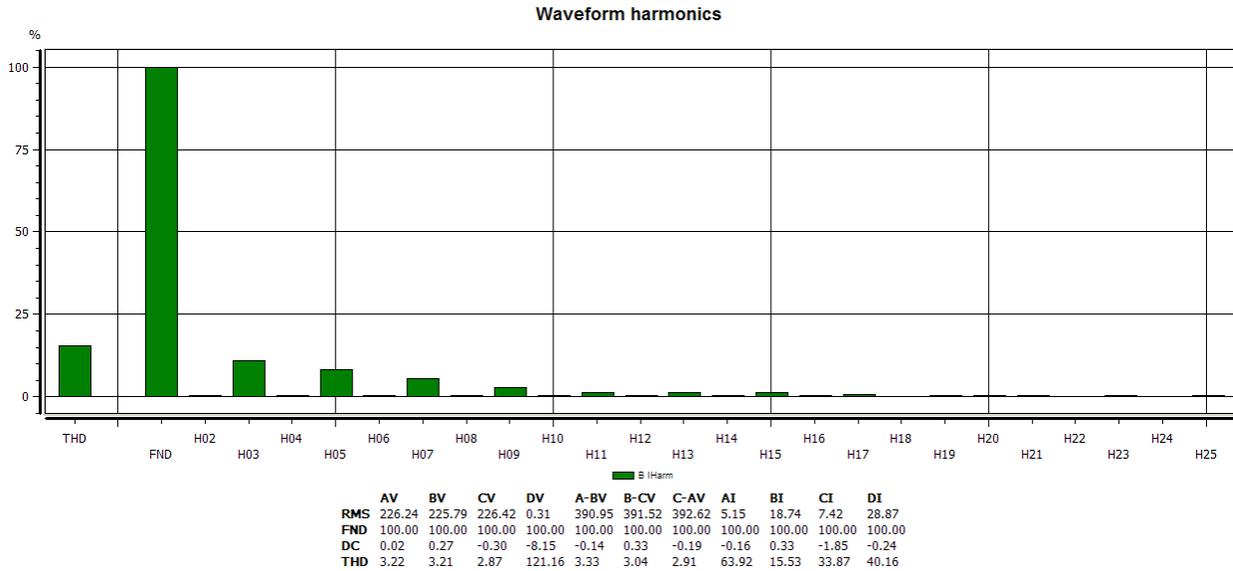


Fig. 4.11: Fase S, SSEE 8. Tiene un THDI de 33,87% y la armónica dominante es H03, le sigue H05.

### 4.2.7 Espectro Armónico de Voltaje

Las armónicas individuales de voltaje por lo general son producto de las armónicas de corriente que vienen del sistema (Fig. 4.12 y 4.16).

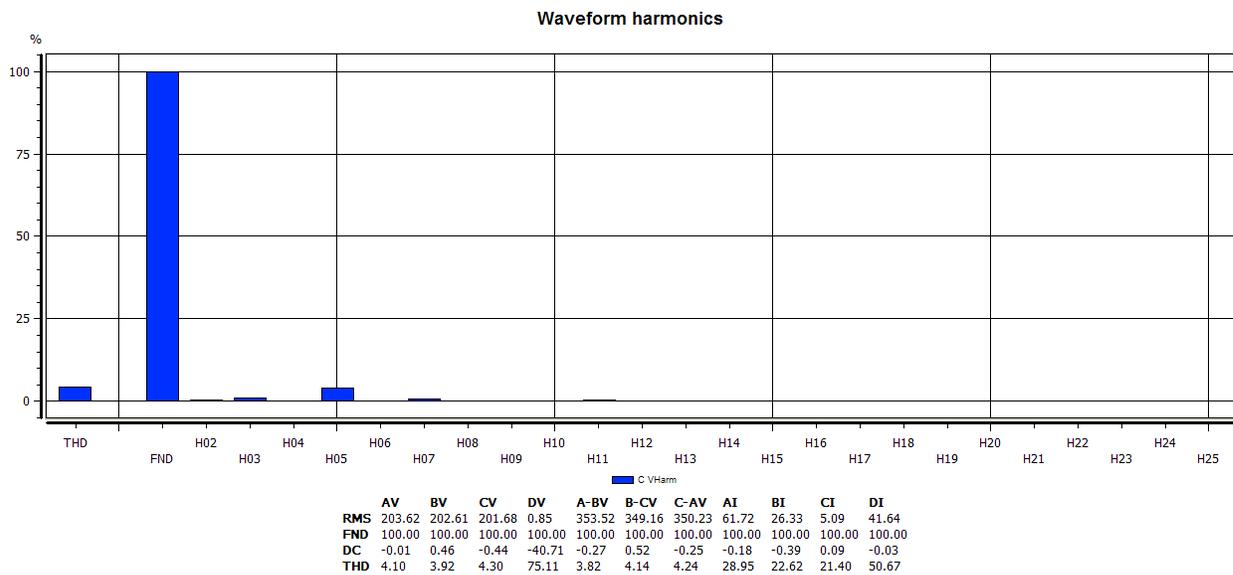


Fig. 4.12: Fase T, SSEE 2B. Tiene un THDV de 4,3% y la armónica dominante es H05.

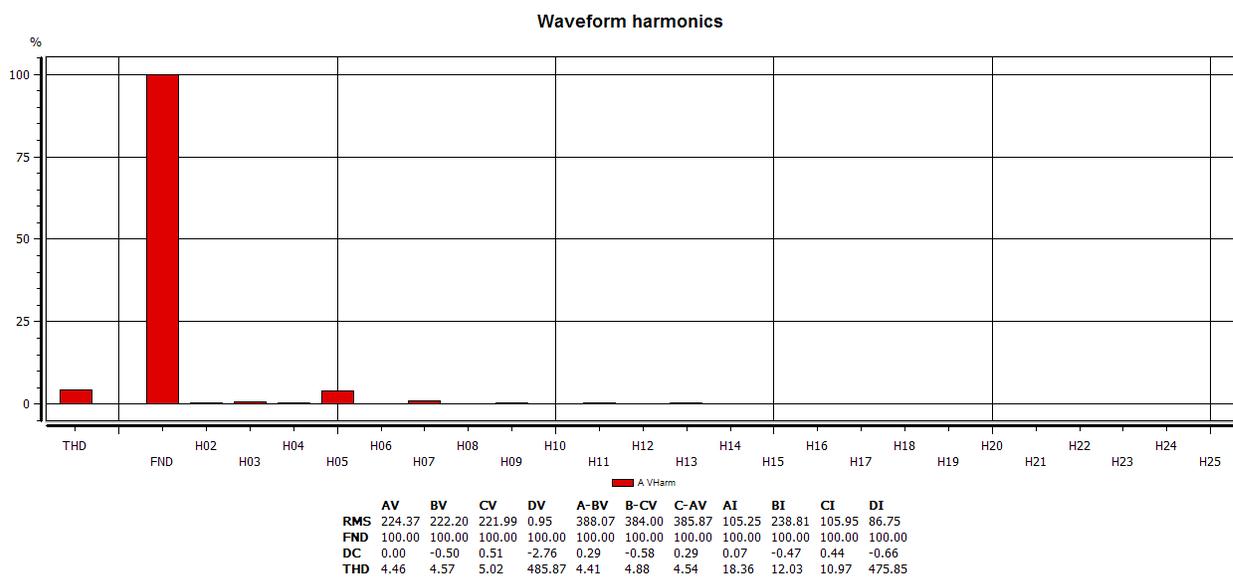


Fig. 4.13: Fase R, SSEE 3. Tiene un THDV de 4,46% y la armónica dominante es H05.

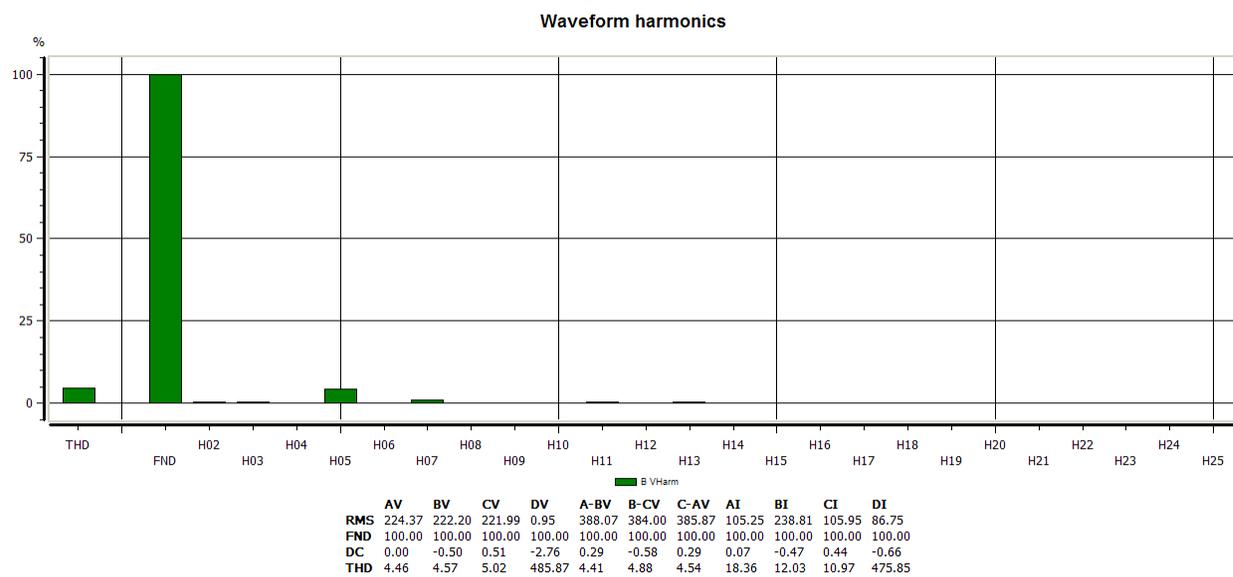


Fig. 4.14: Fase S, SSEE 3. Tiene un THDV de 4,57% y la armónica dominante es H05.

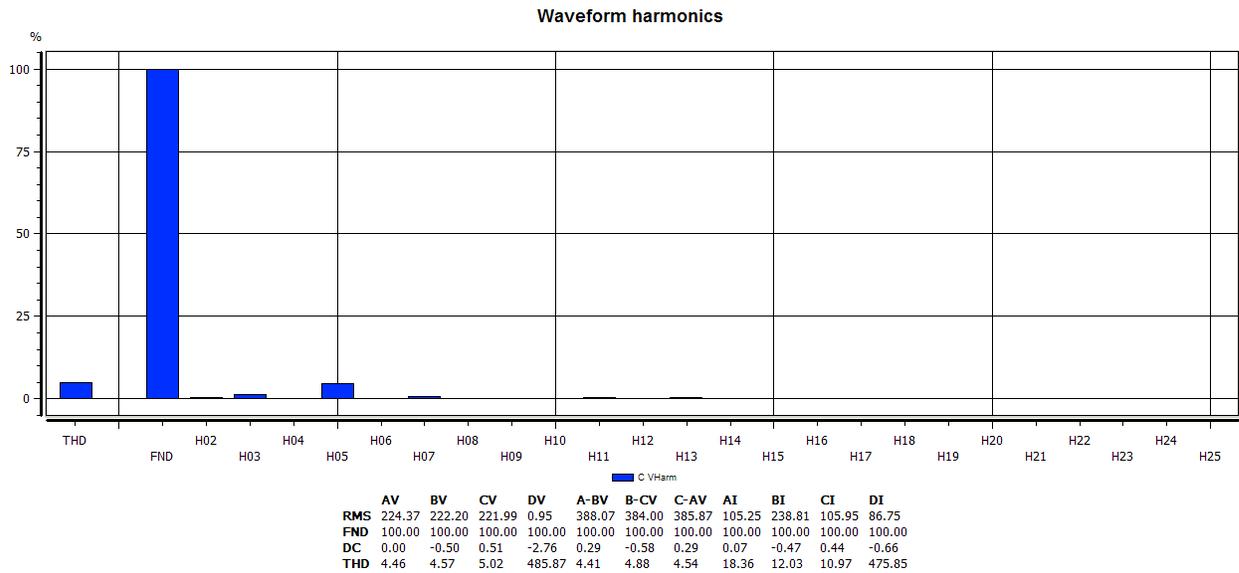


Fig. 4.15: Fase T, SSEE 3. Tiene un THDV de 5,02% y la armónica dominante es H05.

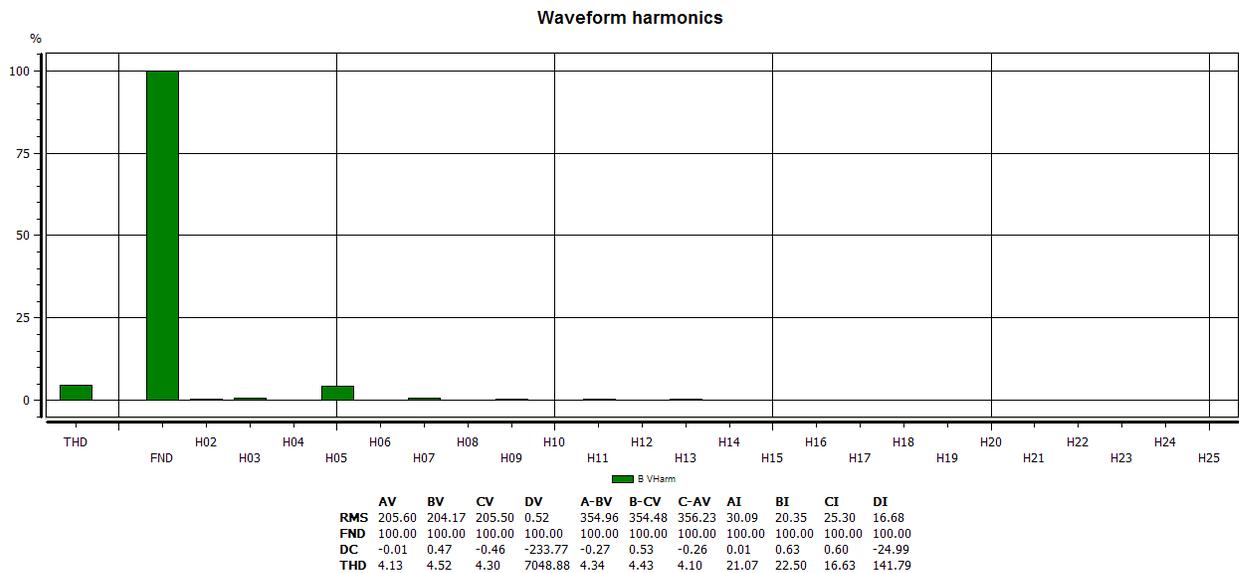


Fig. 4.16: Fase S, SSEE 7. Tiene un THDV de 4,52% y la armónica dominante es H05.

### 4.3 MEDICIONES EN EL NEUTRO

En el neutro es posible encontrar la presencia de armónicas triples o de secuencia cero. Debido a esto es necesario cuantificar el nivel de contaminación en el neutro. A veces es posible encontrar que las armónicas triples, en especial la 3ra, es de mayor magnitud que la fundamental.

#### 4.3.1 Rango de Corrientes y Voltajes en Neutro.

TABLA 4.11  
CORRIENTES Y VOLTAJES EN NEUTRO

SS/EE	Corriente [A]			Voltaje [V]		
	Med.	Min.	Máx.	Med.	Min.	Máx.
1	169,46	116,3	197,6	0,37	0,1459	0,4861
2A	48,56	40,39	58,08	0,86	0,6428	1,283
2B	41,64	20,6	46,62	0,6891	0,6285	1,176
3	86,75	79,56	143,1	0,95	0,8306	1,262
5	38,98	38,05	56,84	0,82	0,7941	0,988
6	33,69	28,14	57,86	0,15	0,1363	0,2241
7	16,68	14,39	37,53	0,52	0,4616	0,6978
8	28,87	13,96	54,97	0,31	0,2076	0,3828

#### 4.3.2 Índices THD de Corriente y Voltaje en Neutro.

Los índices de distorsión medidos corresponden a los valores medios (Ver TABLA 4.12). Considerar el valor mínimo es no dimensionar la realidad del problema y considerar el valor máximo es sobredimensionar el problema.

TABLA 4.12  
ÍNDICES DE DISTORSIÓN EN NEUTRO

SS/EE	THD I	THD V
	% FUNDAMENTAL	% FUNDAMENTAL
1	98,24	109,05
2A	208,03	57,58
2B	50,67	75,11
3	475,8	485,9
5	190,67	109,35
6	38,79	125,07
7	141,79	7,049
8	40,16	121,16

Peores índices: THDI: SSEE 2 y 8 . THDV: SSEE 3 y 7.

### 4.3.3 Armónicas individuales de Corriente

Las Armónicas individuales muestran el desglose del THD, así se individualiza la armónica dominante que causa más problema en el sistema (Ver TABLA 4.13).

TABLA 4.13  
CORRIENTES ARMÓNICAS INDIVIDUALES

Numero Armónica	SSEE Amperes					SSEE % FUNDAMENTAL				
	1	2A	3	5	7	1	2A	3	5	7
1	65,2	40,85	5,46	40,85	10,44	1	1	1	1	1
3	12	16,33	1	16,33	13	0,0109	0,3975	0,0056	0,3975	1,239
5	12,85	11,22	0,3	11,22	1,87	0,04	0,3185	0,038	0,3185	0,179
7	5	3,82	0,1	3,82	3,2	0,008	0,096	0,0084	0,096	0,305
9	3,6	4	0,1	4	5,63	0,0033	0,137	0,003	0,137	0,538
11	1,92	2,08	0,12	2,08	1,1	0,0034	0,076	0,0014	0,076	0,1046
13	0,96	0,65	0,065	0,65	0,32	0,003	0,047	0,0014	0,047	0,031
15	0,525	0,51	0,063	0,51	2,13	0,0022	0,065	0,0004	0,065	0,204
17	0,262	0,18	0,043	0,18	0,3	0,0014	0,0162	0,0002	0,0162	0,0276
19	0,734	0,22	0,06	0,22	0,2	0,0007	0,085	0,0006	0,085	0,02
21	0,086	0,256	0,05	0,256	0,56	0,001	0,033	0,0002	0,033	0,054
23	0,16	0,2	0,045	0,2	0,1	0,0003	0,026	0,0001	0,026	0,01
25	0,155	0,03	0,034	0,03	0,16	0,0004	0,0515	0,0001	0,0515	0,0155

### 4.3.4 Formas de Onda

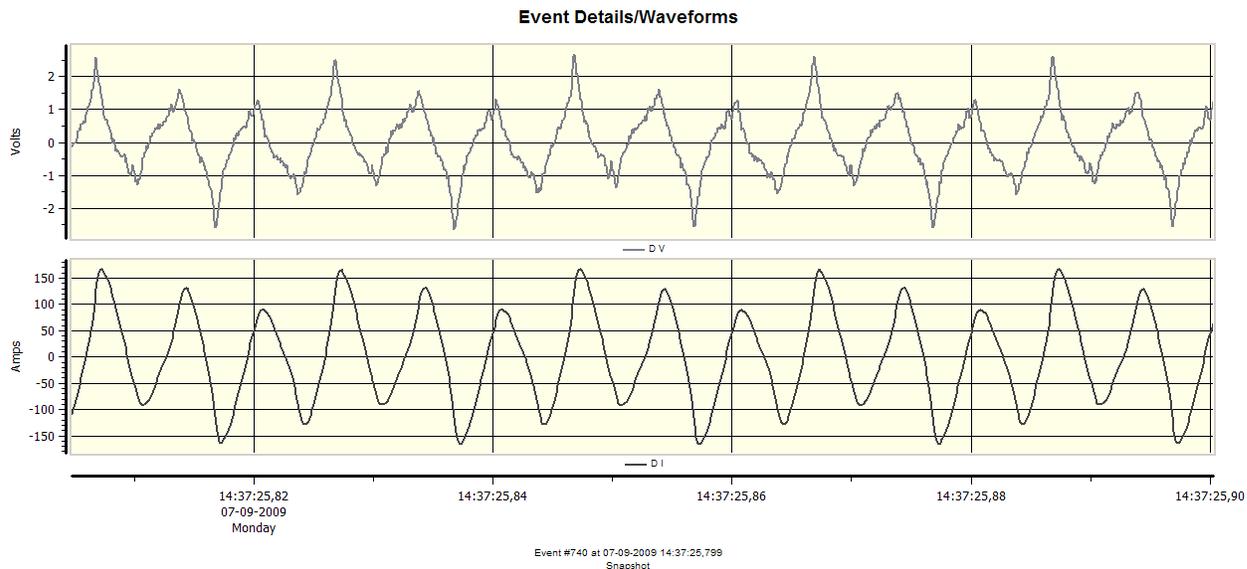


Fig. 4.17: El Neutro de la SSEE 3 presenta bastante distorsión producto del desequilibrio de las cargas.

### 4.3.5 Espectro Armónico de Corriente

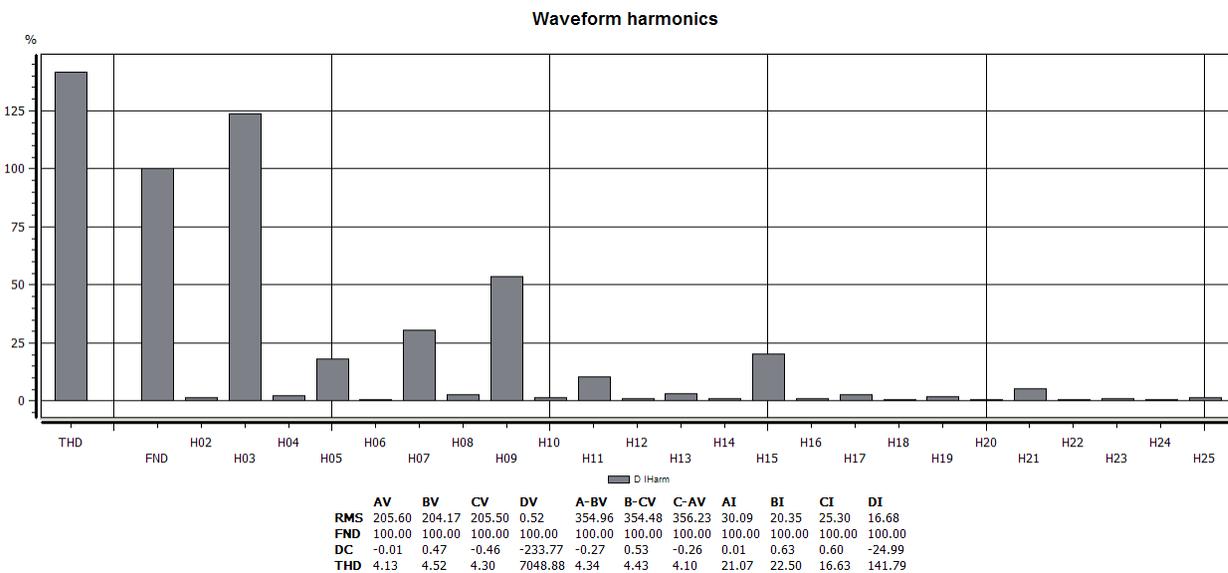


Fig. 4.18: En el Neutro de la SSEE 7, la 3ra armónica llega a ser un 25% mayor que la fundamental.

## 4.4 ANÁLISIS NORMATIVO

La corriente de cortocircuito por cada transformador se calculó en el **CAPÍTULO II**. Por tanto en esta sección sólo se analizará lo correspondiente a la **corriente de carga** y su análisis con respecto a la normativa vigente en Chile.

### 4.4.1 Corriente de Carga

La corriente de carga  $I_L$  es la máxima corriente de carga en su valor efectivo a la frecuencia fundamental en el PCC (e.c 4.1). Se calcula como el promedio de los doce valores previos de las máximas demandas mensuales, que se presenta en la TABLA 4.14:

TABLA 4.14  
CONSUMO DE POTENCIA ACTIVA Y FACTOR DE POTENCIA

	<b>Boleta 1 (kW)</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Boleta 2 (kW)</b>	<b>Factor de potencia</b>
<b>Octubre 2008</b>	900,9	0,97	79,1	0,89
<b>noviembre</b>	489,9	0,97	75,9	0,87
<b>Diciembre</b>	458,7	0,96	67,7	0,91
<b>Enero 2009</b>	348,3	0,95	55,7	0,84
<b>febre ro</b>	363	0,95	55,7	0,78
<b>marzo</b>	420,9	0,97	51,3	0,87
<b>abril</b>	595,2	0,97	63,8	0,87
<b>mayo</b>	774	0,98	70,7	0,91
<b>junio</b>	899,4	0,98	79,7	0,92
<b>julio</b>	943,8	0,98	96,5	0,93
<b>agosto</b>	872,4	0,98	86,3	0,93
<b>septiembre</b>	858,3	0,98	89,1	0,9
<b>promedio</b>	<b>660,4</b>	<b>0,97</b>	<b>72,625</b>	<b>0,89</b>

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \cos\varphi \quad \rightarrow \quad I_L = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\varphi} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

A) Cálculo de  $I_L$ , con factor de potencia 0,97

$$I_L = \frac{660,4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,97} = 982,69 \text{ (A)}$$

B) Cálculo de  $I_L$ , con factor de potencia 0,89

$$I_L = \frac{72,625 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,89} = 117,78 \text{ (A)}$$

#### 4.4.2 Resumen Factura 1

TABLA 4.15  
RESUMEN FACTURA 1

	<b>S</b> <b>[kVA]</b>	<b>I<sub>sc</sub></b> <b>[kA]</b>	<b>I<sub>L</sub></b> <b>[A]</b>	<b>Factor de potencia</b>
<b>SS/EE 1</b> <b>(Arquitectura)</b>	400	25,17	982,69	0,97
<b>SS/EE 2</b> <b>(Face 2A)</b>	200	8,03	982,69	0,97
<b>SS/EE 2</b> <b>(Face 2B)</b>	200	8,083	982,69	0,97
<b>SS/EE 3</b> <b>(Gantes)</b>	500	28	982,69	0,97
<b>SS/EE 5</b> <b>(Casino)</b>	400	24,62	982,69	0,97
<b>SS/EE 6</b> <b>(Radio)</b>	300	16,03	982,69	0,97

#### 4.4.3 Resumen Factura 2

TABLA 4.16  
RESUMEN FACTURA 2

	<b>S</b> <b>[KVA]</b>	<b>I<sub>sc</sub></b> <b>[kA]</b>	<b>I<sub>L</sub></b> <b>[A]</b>	<b>Factor de potencia</b>
<b>SS/EE 7</b> <b>(Fondef)</b>	300	15	117,78	0,89
<b>SS/EE 8</b> <b>(Esc. Diseño)</b>	200	7,94	117,78	0,89

#### 4.4.4 Contenido armónico de corriente según normativa

La TABLA 4.17 muestra los valores normativos de THDI con respecto al contenido armónico y la razón entre la corriente de cortocircuito  $I_{SC}$  y la máxima corriente de carga  $I_L$  en cada una de la SS/EE medidas de la Universidad del Bío – Bío.

TABLA 4.17  
CONTENIDO ARMÓNICO DE CORRIENTE SEGÚN NORMATIVA

	$\frac{I_{SC}}{I_L}$	RANGO	THDI (%)	Fases		
				R	S	T
<b>SS/EE 1 (Arquitectura)</b>	25,61	20-50	8.0	11,99	13,51	10,71
<b>SS/EE 2 (Face 2A)</b>	8,17	≤ 20	5.0	21,37	17,51	20,26
<b>SS/EE 2 (Fase 2B)</b>	8,22	≤ 20	5.0	28,95	22,62	21,4
<b>SS/EE 3 (Gantes)</b>	28,49	20-50	8.0	18,357	12	10,9
<b>SS/EE 5 (Casino)</b>	25,053	20-50	8.0	18,08	22,73	19,33
<b>SS/EE 6 (Radio)</b>	16,31	≤ 20	5.0	9,06	15,8	10,85
<b>SS/EE 7 (Cate m)</b>	127,35	100-1000	15.0	21,07	22,5	16,63
<b>SS/EE 8 (Diseño)</b>	67,41	50 - 100	12	63,92	15,53	33,87

#### 4.4.5 Contenido armónico de voltaje según normativa ( $\leq a 110 \text{ kV}$ )

La TABLA 4.18 muestra los valores normativos máximos de THDV con respecto al contenido armónico en cada una de la SS/EE medidas de la Universidad del Bío – Bío.

TABLA 4.18  
CONTENIDO ARMÓNICO DE VOLTAJE

SS/EE	$\leq 110 \text{ kV}$	THDV%	Fases y en Neutro		
			R	S	T
1	15	8	4,1	3,81	4,34
2 A	15	8	4,25	3,8	3,94
2 B	15	8	4,25	3,8	3,94
3	15	8	4,46	4,57	5
5	15	8	4,19	3,89	3,64
6	15	8	3,89	3,56	3,83
7	15	8	4,13	4,52	4,3
8	15	8	3,22	3,21	2,87

#### 4.4.6 Carga Máxima Tolerada en Punto PCC

La TABLA 4.19 muestra los valores máximos tolerados para la instalación de carga según la ecuación 4.2

$$\frac{S_{cc} 3\phi [\text{MVA}]}{S_{carga} [\text{MVA}]} = \frac{I_{sc}}{I_L} \dots\dots\dots(4.2)$$

TABLA 4.19  
CARGA MÁXIMA SC TOLERADA EN PCC

SS/EE	S [kVA]	S <sub>cc</sub> [MVA]	I <sub>sc</sub> / I <sub>L</sub>	S <sub>c</sub> [kVA]
1	400	17,44	25,61	680
2A	200	5,56	8,17	680
2B	200	5,6	8,22	681
3	500	19,4	28,49	680
5	400	17,06	24,053	680
6	300	11,1	16,31	680
7	300	12	127,35	94,22
8	200	5,5	67,41	81,6

## CAPÍTULO V

### POSIBLES SOLUCIONES DE MITIGACIÓN

## 5 SOLUCIONES DE MITIGACIÓN

Después de haber realizado un estudio de niveles de armónicos en cada SS/EE de la Universidad del Bío-Bío, es necesario pensar en la solución más apropiada, para mitigar la problemática de la proliferación armónica. Dentro de este contexto las soluciones podrían ser varias, pero como la finalidad es dar una solución realmente **eficaz y definitiva**, los filtros son los más adecuados. Pudiéndose distinguir tres tipos de filtros; filtros pasivos, filtros activos y filtros híbridos. Los cuales se diferencian por sus ventajas y desventajas, además de su costo económico.

En cuanto a la situación de la Universidad es conveniente dar una solución que sea definitiva y propicia al sistema eléctrico actual.

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS

#### 5.1.1 *Filtros Pasivos*

Son filtros electrónicos formados únicamente por elementos pasivos, es decir, resistencias, condensadores y bobinas. Estos están formados por la combinación serie o paralelo.

#### 5.1.2 *Filtros Activos*

Son filtros electrónicos analógicos que se distinguen por el uso de uno o más componentes activos. Típicamente el elemento activo puede ser un transistor o un amplificador operacional y en su implementación se combinan elementos activos y pasivos.

#### 5.1.3 *Filtros Híbridos*

Los filtros híbridos son la combinación de los dos anteriores, lo cual permite extender el rango de aplicación de los compensadores activos, y mejorar las funcionalidades de los filtros pasivos.

## 5.2 PROPUESTAS PARA EMPALME 2

Gracias a la colaboración de SCHNEIDER ELECTRIC CHILE S.A. sola ha sido posible la atenuación de los armónicos y el mejoramiento del factor de potencia del Empalme 2, en donde la instalación de filtros activos es la solución más propicia al sistema eléctrico.

Las siguientes propuestas corresponden al empalme 2, en donde el empalme está constituido por las siguientes subestaciones: SS/EE 7 y 8.

En las siguientes tablas 5.1 y 5.2 se muestran las características principales del filtro activo y el banco de condensadores que permitirá mejorar el factor de potencia.

TABLA 5.1  
ESPECIFICACIONES DEL FILTRO ACTIVO MARCA «SINEWAVE »

SS/EE	Potencia [kVA]	Int. Principal [A]	Filtro Activo [A]	Valor Filtro [US\$]
7 CATEM	300	400	90	27.952

TABLA 5.2  
ESPECIFICACIONES DEL BANCO DE CONDENSADORES

SS/EE	BBCC [kVAR]	Etapas [kVAR]	Frecuencia de Sintonía [Hz]	Valor BBCC [US\$]
7 CATEM	75	25+25+25	135	6.375

Las tablas 5.3 y 5.4 indican las características del filtro Activo y el banco de condensadores correspondientes a la SS/EE 8.

TABLA 5.3  
ESPECIFICACIONES DEL FILTRO ACTIVO MARCA «SINEWAVE»

SS/EE	Potencia [kVA]	Int. Principal [A]	Filtro Activo [A]	Valor Filtro [US\$]
8 DISEÑO	200	160	90	55.850

TABLA 5.4  
ESPECIFICACIONES DEL BANCO DE CONDENSADORES

SS/EE	BBCC [kVAR]	Etapas [kVAR]	Frecuencia de Sintonía [Hz]	Valor BBCC [US\$]
8 DISEÑO	75	25+25+25	135	7.010

Estas son las propuestas pertenecientes a las SS/EE del empalme 2, que tienen por finalidad atenuar los armónicos y mejorar el factor de potencia.

**Nota:** Las especificaciones técnicas del filtro activo, se encuentra adjuntas en los anexos, para una mayor información.

### 5.3 FRECUENCIAS DE RESONANCIA PARA EMPALME 2

Al instalar bancos de condensadores se debe tener cuidado de verificar si la frecuencia del banco instalado no coincida con la frecuencia del sistema, mediante las ecuación 5.1 (Ver TABLA 5.5 a 5.7). Un circuito de resonancia en paralelo es cuando la reactancia inductiva del sistema y la reactancia capacitiva son iguales a la misma frecuencia, como resultado de lo anterior las corrientes armónicas generadas por alguna carga no lineal excitará el circuito en paralelo (Ver Fig 5.1) y amplificará la corriente armónica que oscilará entre la energía almacenada en la inductancia y la energía almacenada en la capacitancia. El efecto anterior resulta en distorsión de voltaje e interferencias en circuitos telefónicos que estén próximos. [5]

$$F_R = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = \sqrt{\frac{S_{cc} 3\phi [MVA]}{MVAR_{BANCO}}} \dots\dots\dots (5.1)$$

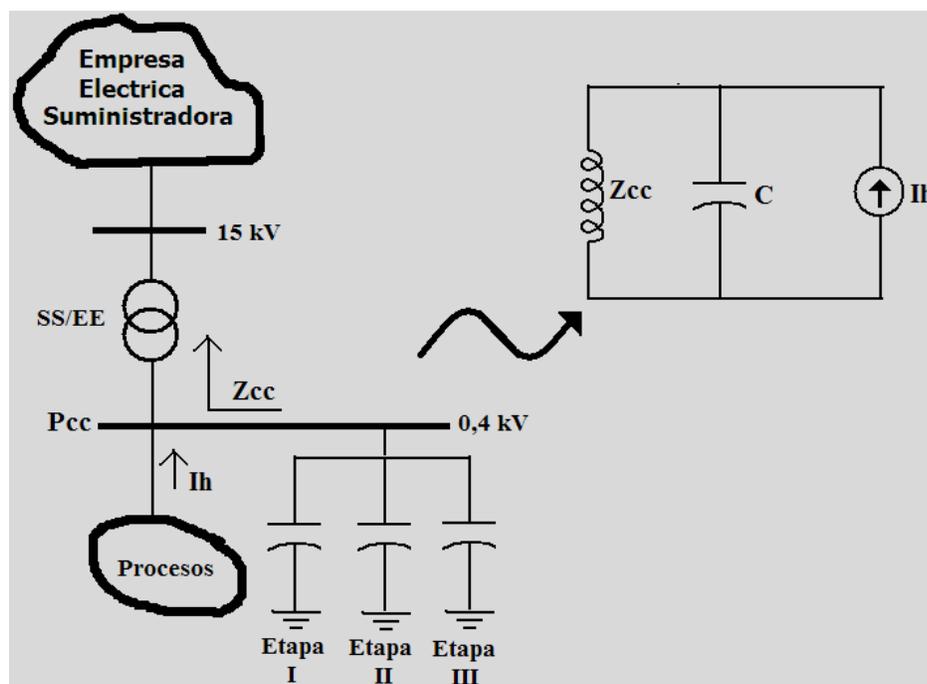


Fig. 5.1 Esquema eléctrico UBB para análisis de resonancia en paralelo.

TABLA 5.5  
FRECUCIAS DE RESONANCIA

SS/EE	Scc [MVA]	BBCC [kVAR]			Frecuencia Resonancia [Hz]		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
7	10,4	25	25	25	20,4	14,42	11,77
8	5,5	25	25	25	14,83	10,48	8,56

TABLA 5.6  
FRECUCIAS DE RESONANCIA A 3<sup>RA</sup> ARMÓNICA

SS/EE	XL [p.u.]	BBCC - XC [p.u.]			Frecuencia Resonancia [Hz]		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
7	24,6	1.333	666,66	444,44	7,36	5,2	4,25
8	48	1.333	666,66	444,44	5,3	3,72	3,04

TABLA 5.7  
FRECUCIAS DE RESONANCIA A 5<sup>A</sup> ARMÓNICA

SS/EE	XL [p.u.]	BBCC - XC [p.u.]			Frecuencia Resonancia [Hz]		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
7	41	800	400	266,66	4,42	3,12	2,55
8	80	800	400	266,66	3,16	2,23	1,82

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

De acuerdo a las mediciones realizadas se puede concluir y comentar lo siguiente:

Los niveles de **THDi por fase**, en el Empalme 1 y 2, están fuera de los valores admitidos por el DS 327-1998, de acuerdo la razón  $I_{sc}/I_L$ .

En general los **THDv por fase**, están dentro del límite permitido por DS 327-1998. El cual estima un límite del 8 % para niveles de tensión menores o iguales a 110 kV.

Los **índices de THDI** más trascendentes se encontraron en la SS/EE 2 «FACE» con un 21,37% como valor máximo en la fase R (Tablero 2A) y un 28,95% en la fase R (Tablero 2B), en la SS/EE 5 «RADIO» con un 22,73% en la fase T y en la SSEE 8 «DISEÑO» con un 63,92% en la fase R. También se aprecia de acuerdo al **Espectro Armónico** que en general existe como armónico dominante el 3ro y 5to, como consecuencia de las cargas de iluminación, informática y equipos que involucran la electrónica de potencia.

Los **índices de THDV** más sobresalientes se encontraron en la SS/EE 1 «ARQUITECTURA» con un 4,34% como valor máximo en la fase S, en la SSEE 2 «FACE» con un 4,25% en la fase R (Tablero 2A) y un 4,3% en la fase T (Tablero 2B), en la SS/EE 3 «GANTES» con 5,02% en la fase T y en la SS/EE 7 «CATEM» con un 4,52% en la fase S.

Consecuente a los valores anteriores es necesario tomar medidas concretas para mitigar las emisiones armónicas y optar por una solución más definitiva, como son los **filtros armónicos**.

Las corrientes medidas en los tableros presentan un desbalance en sus fases producto de las cargas, lo que produce un **aumento de corriente por el conductor neutro** y por lo que es recomendable balancear las fases en cuanto a las cargas. Además influye en la sobrecarga del neutro la contaminación armónica que presentan las fases. Se encontraron en todas las SS/EE niveles de THDI mayores que el 40%, presentando como armónica dominante la 3ra.e incluso llegando a ser mayor que la fundamental.

En **Futuros Proyectos Eléctricos de la Universidad** se recomienda que los circuitos que contengan emisión armónica sean aislados de otras cargas, lo que incluye destinar circuitos especiales a equipos informáticos e iluminación. Además se recomienda realizar periódicamente mantención a los tableros principales, incluyendo realizar un nuevo dimensionamiento de conductores debido al crecimiento de la Universidad.

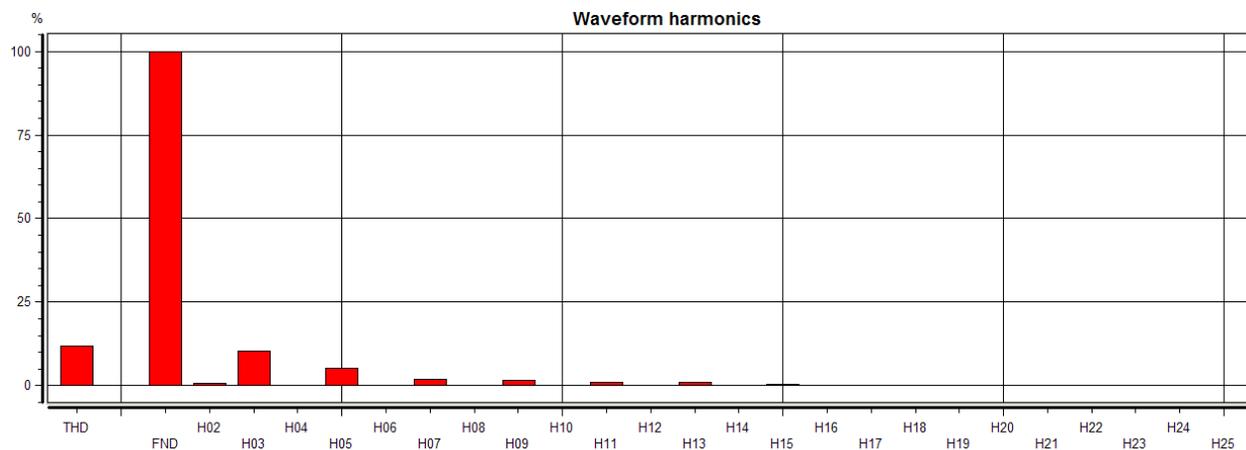
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ángel P, Nicolás B, Manuel Llorente, «*La Amenaza de los Armónicos y sus soluciones*», Editorial Paraninfo, 2000.
- [2] Edwing Ríos, «*Protocolo y desarrollo de experiencias de Laboratorio con Analizador Industrial Power Xplorer PX5, marca Dranetz*», UBB, 2006.
- [3] Eduardo Rivas, Daniel Almonacid, «*Evaluación de la Contaminación Armónica en redes de baja tensión subterráneas del centro de Concepción*», UBB, 2003.
- [4] Rubén Vidal, «*Estudio de la Contaminación Armónica en Instalaciones de Energía IBENER S.A.*», UBB, 2007.
- [5] IEEE, «*Standard 519 - Recommended Practices and Requiriments for Harmonics Control in Electric Power System Analisys*», 1992.
- [6] Ministerio de Minería – Comisión Nacional de Energía, «*Ley General de Servicios Eléctricos, Decreto Supremo N° 327*», 1997.
- [7] Ministerio de Minería – Comisión Nacional de Energía, «*Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio*», 2005.
- [8] Juan Carlos Delgado Navarro –, «*Curso Calidad de Energía Eléctrica*», Apuntes, 2009.

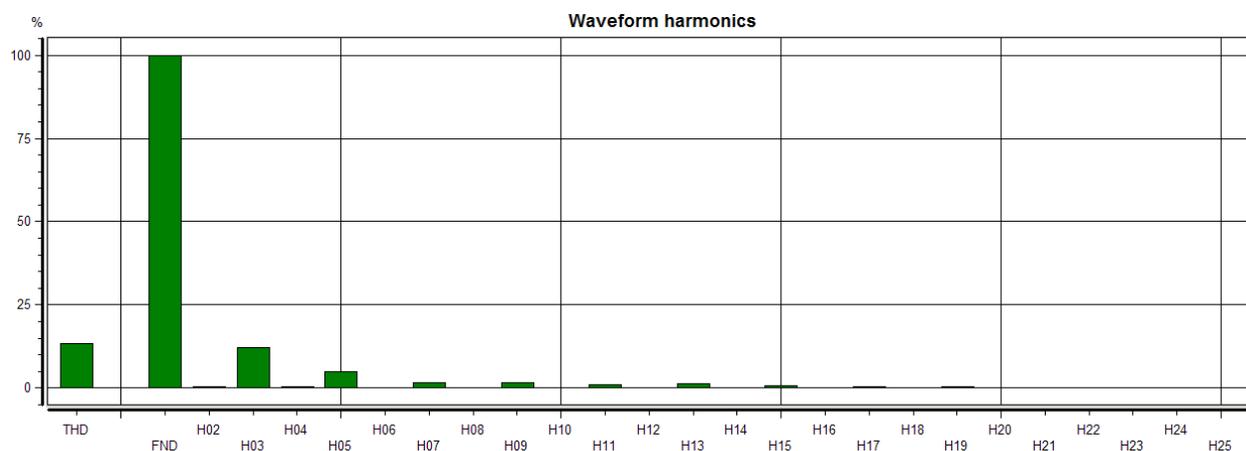
## ANEXOS

# SS/EE 1 ARQUITECTURA

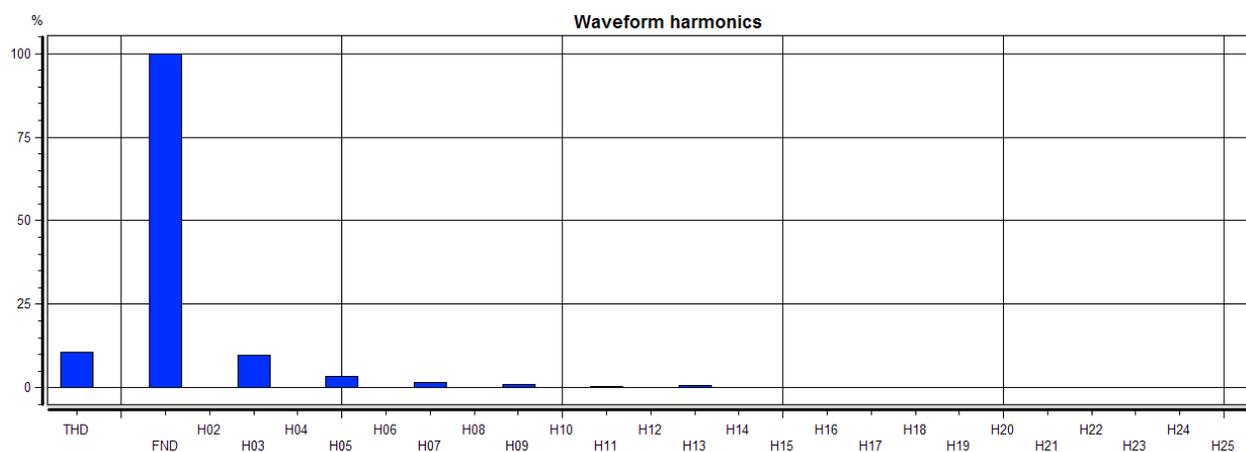
## Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 11,99%, Armónica dominante H03.

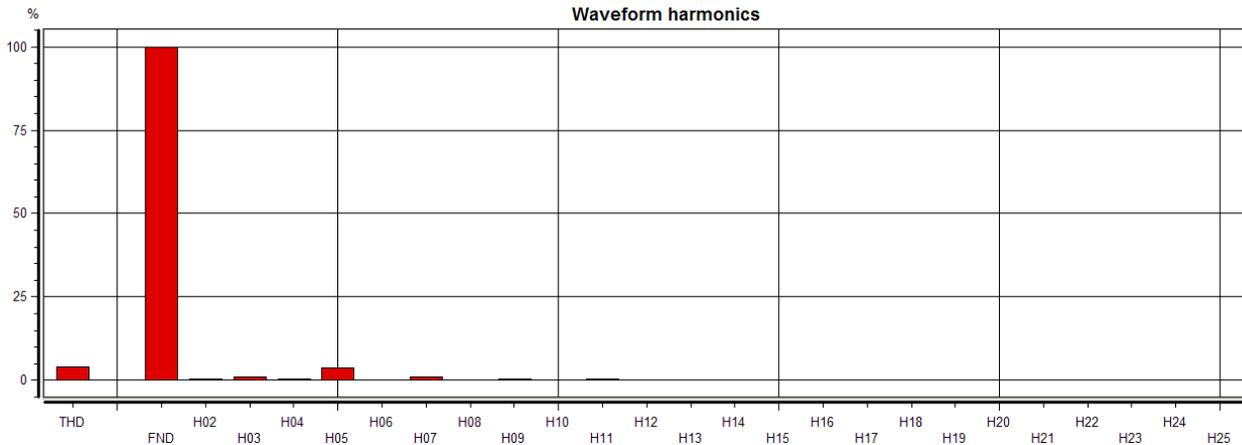


Fase T, THDI = 13,51%, Armónica dominante H03.

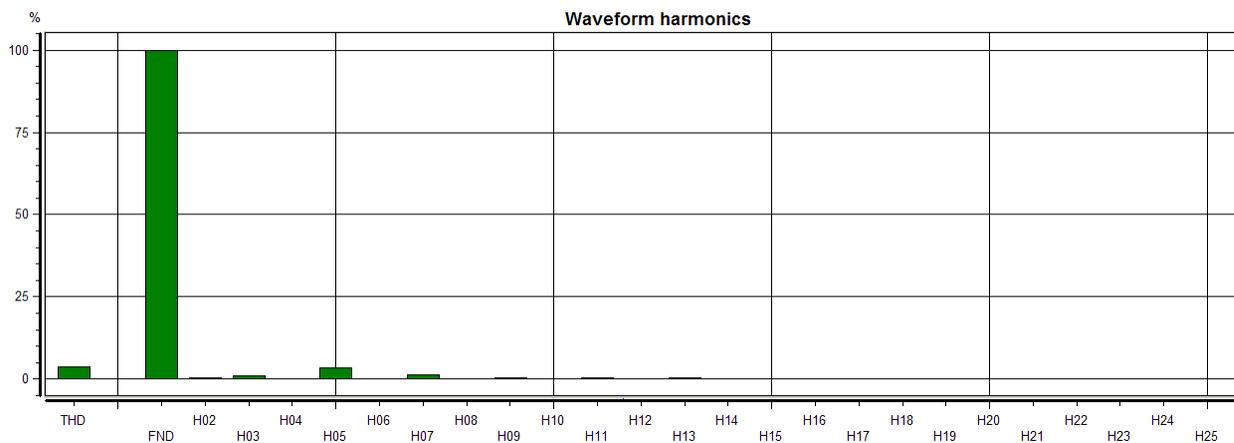


Fase S, THDI = 10,71%, Armónica dominante H03.

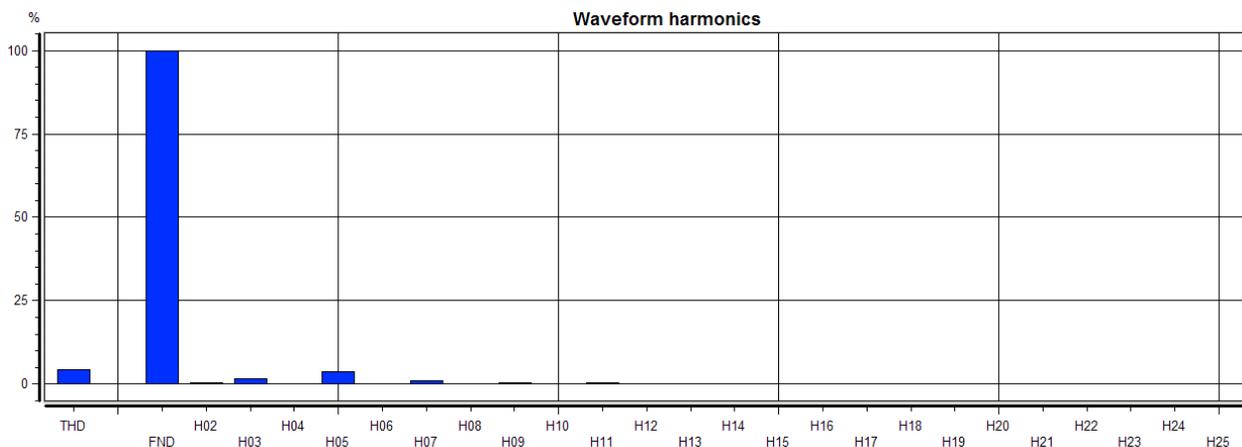
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,1%.

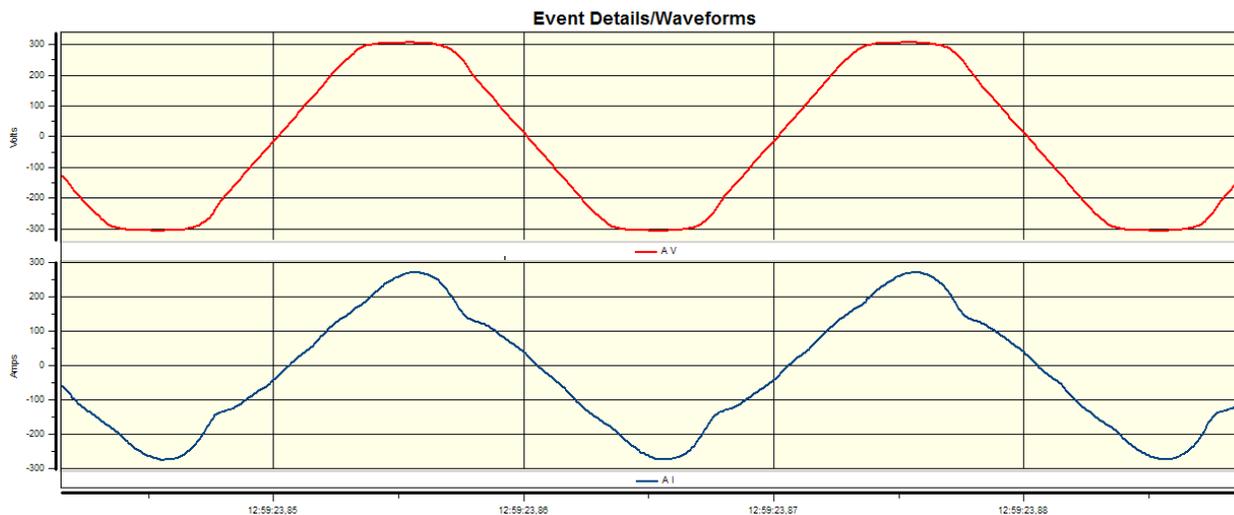


Fase T, THDV = 3,81%.

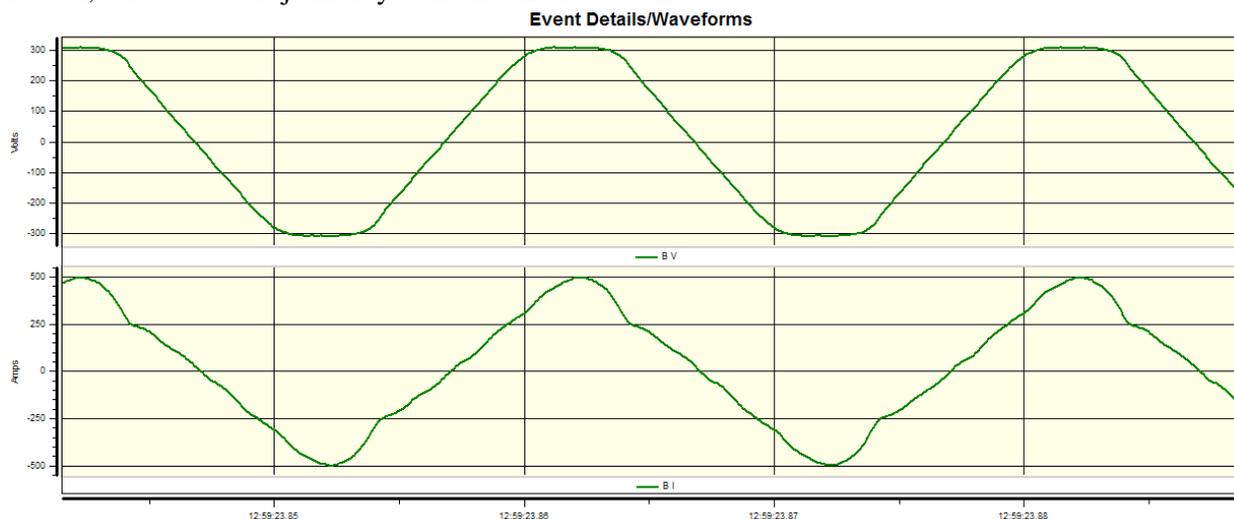


Fase S, THDV = 4,34%.

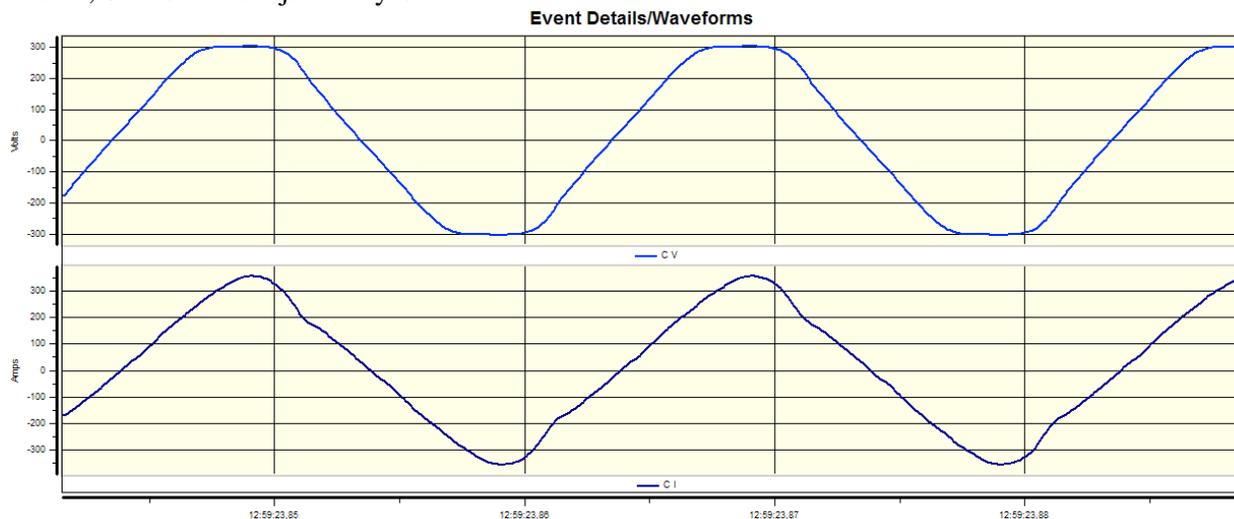
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



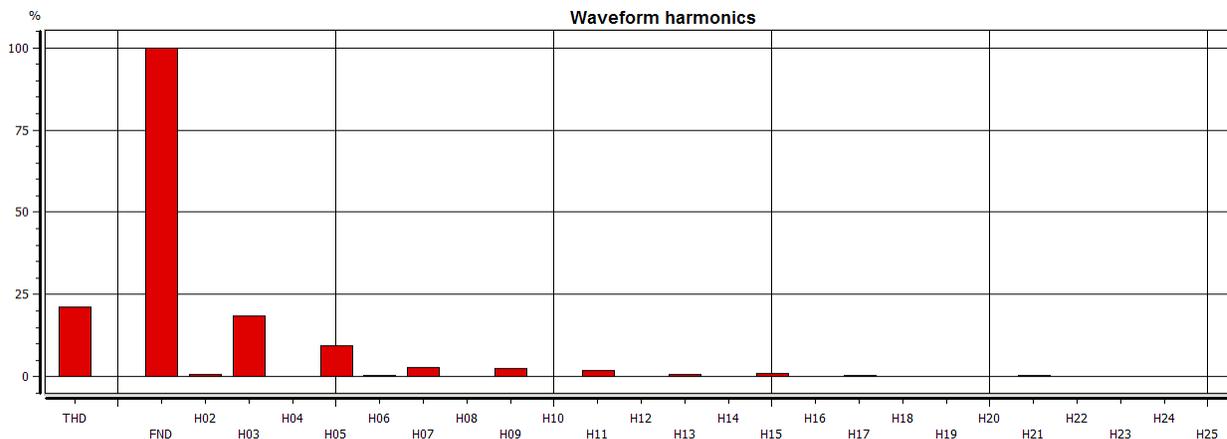
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



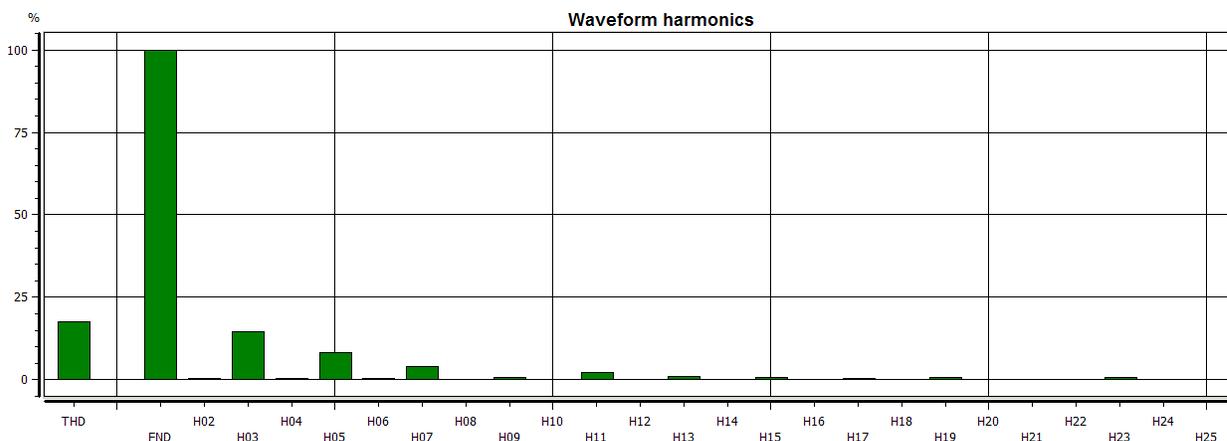
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 2, TABLERO 2 A, FACE.

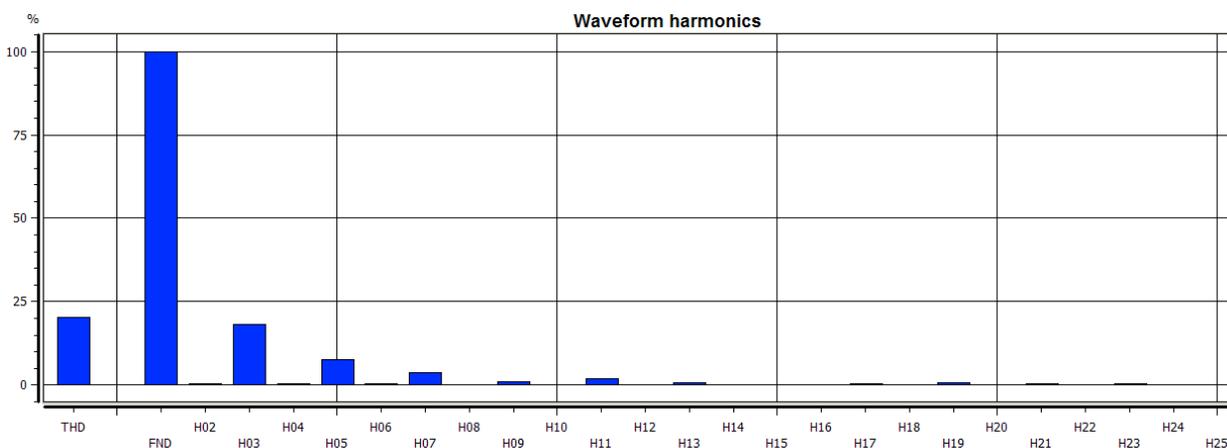
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 21,37%, Armónica dominante H03.

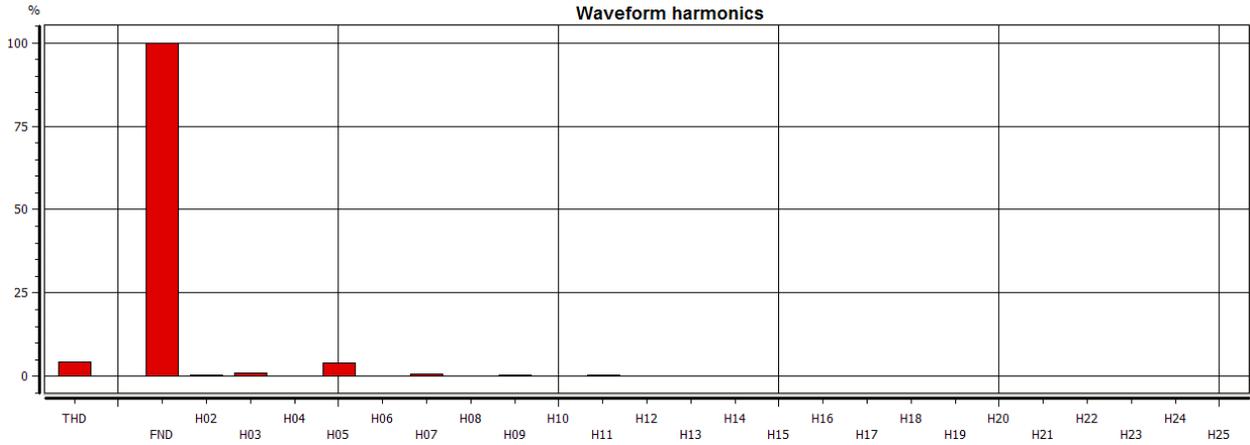


Fase T, THDI = 17,51%, Armónica dominante H03.

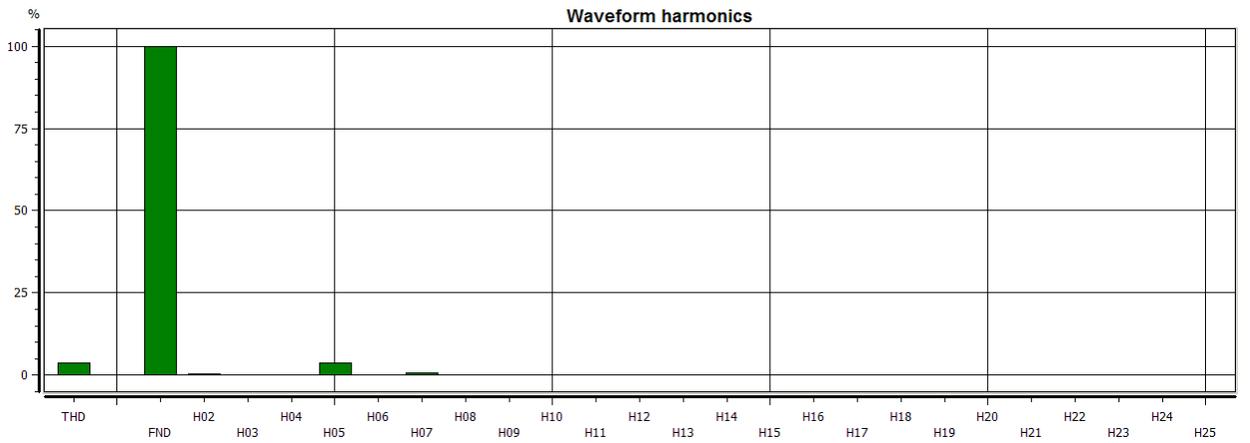


Fase S, THDI = 20,26%, Armónica dominante H03.

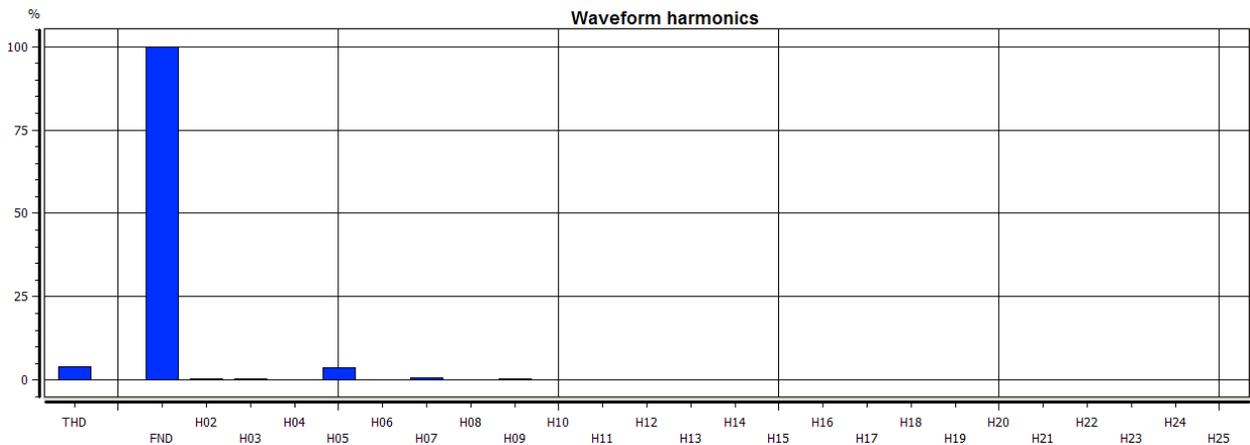
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,25%.

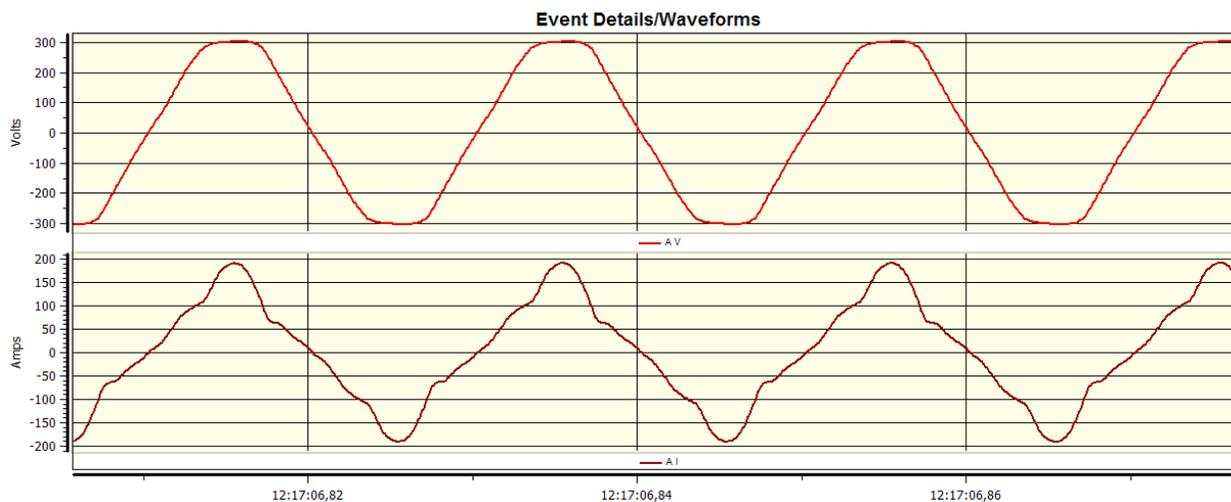


Fase T, THDV = 3,8%.

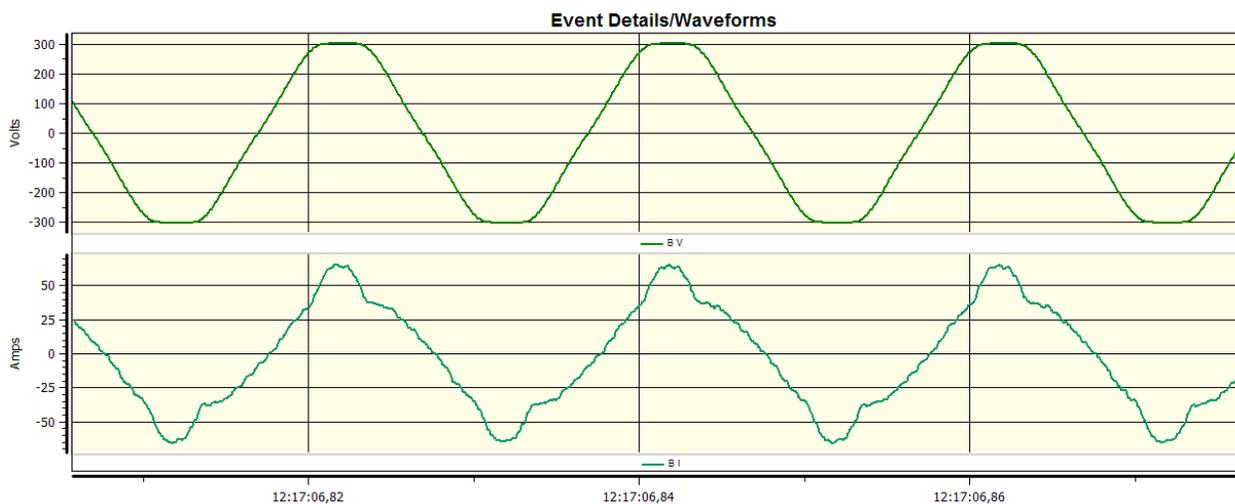


Fase S, THDV = 3,94%.

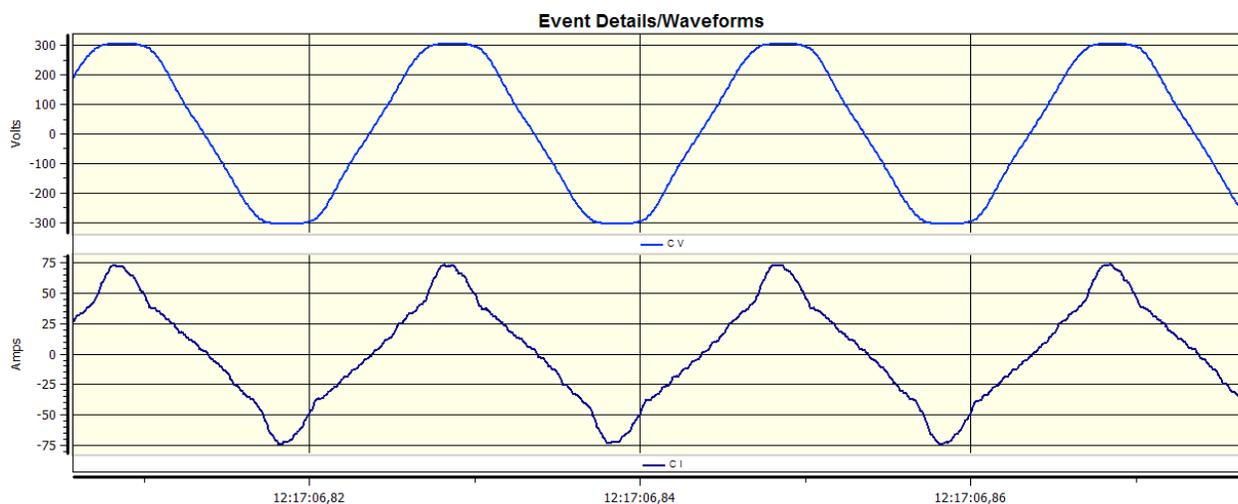
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



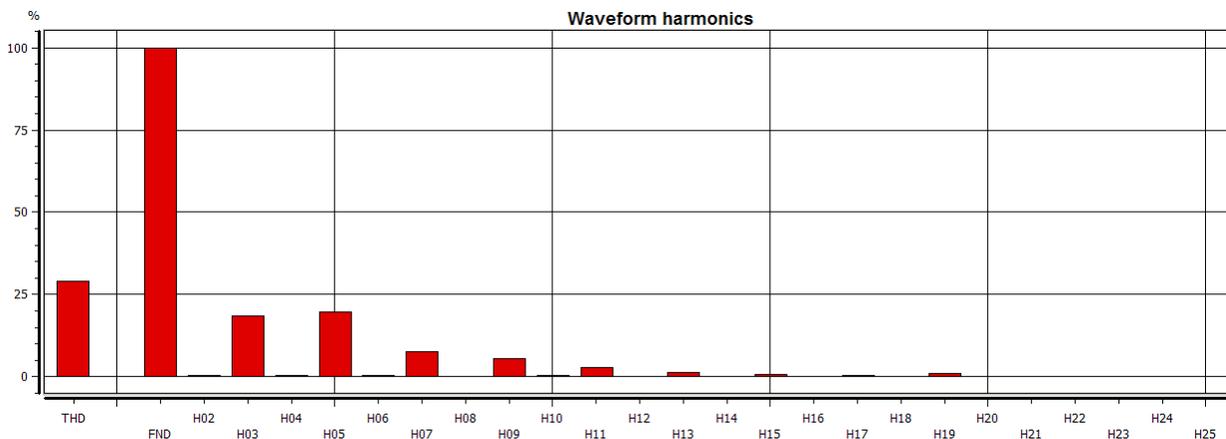
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



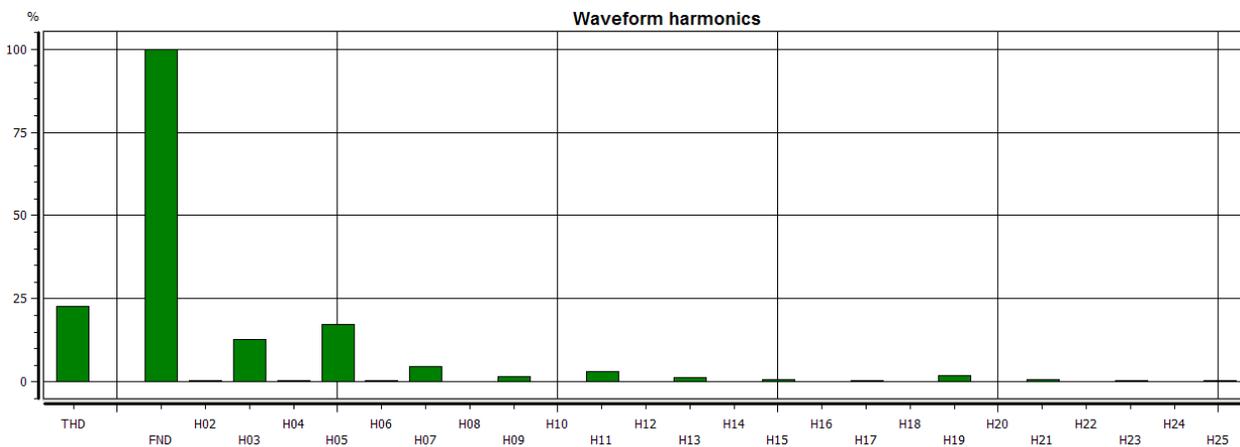
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 2, TABLERO 2 B, FACE.

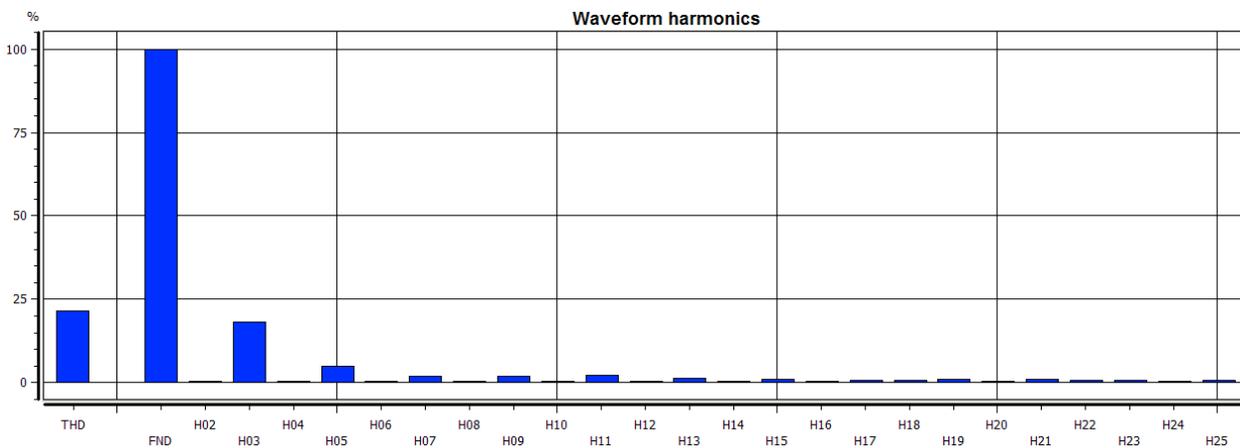
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 28,95%, Armónica dominante H05.

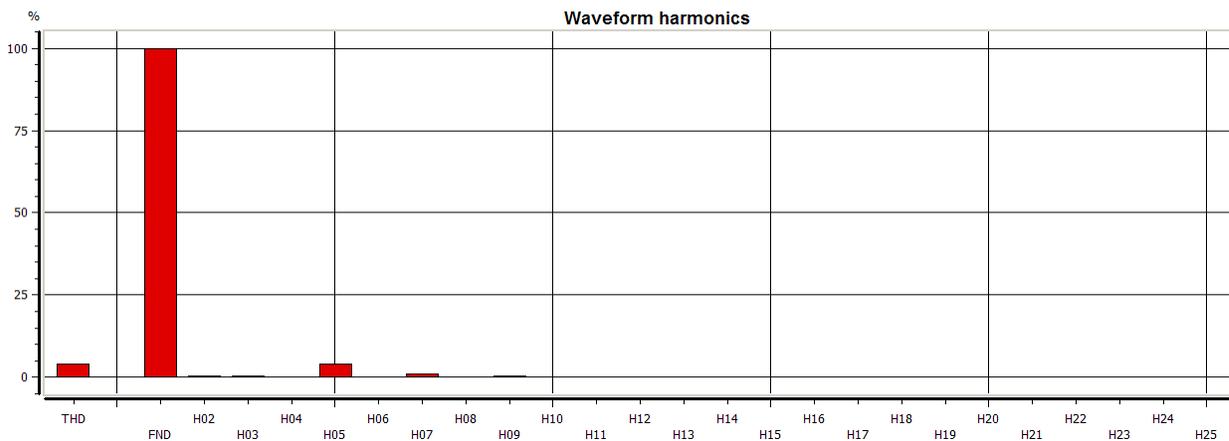


Fase S, THDI = 22,62%, Armónica dominante H05.

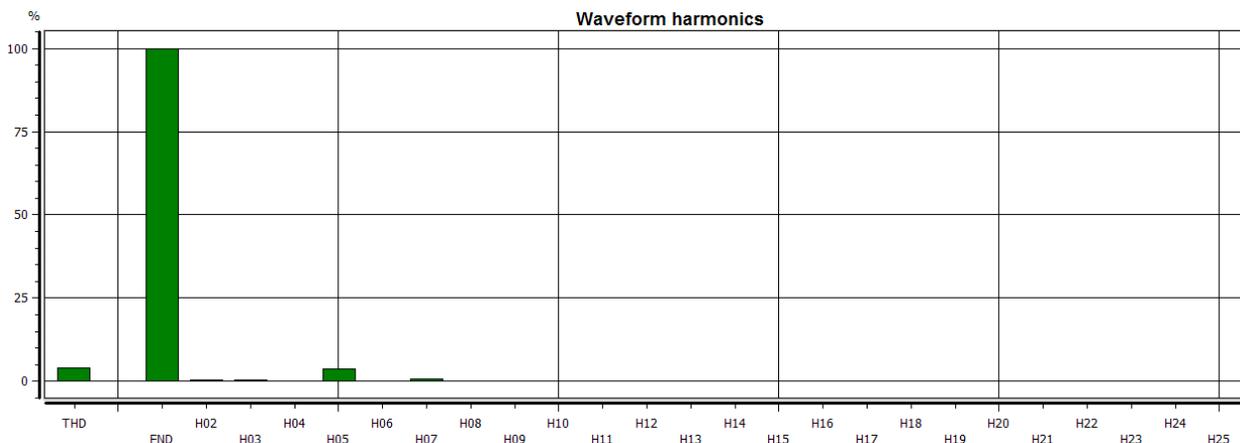


Fase T, THDI = 21,4%, Armónica dominante H03.

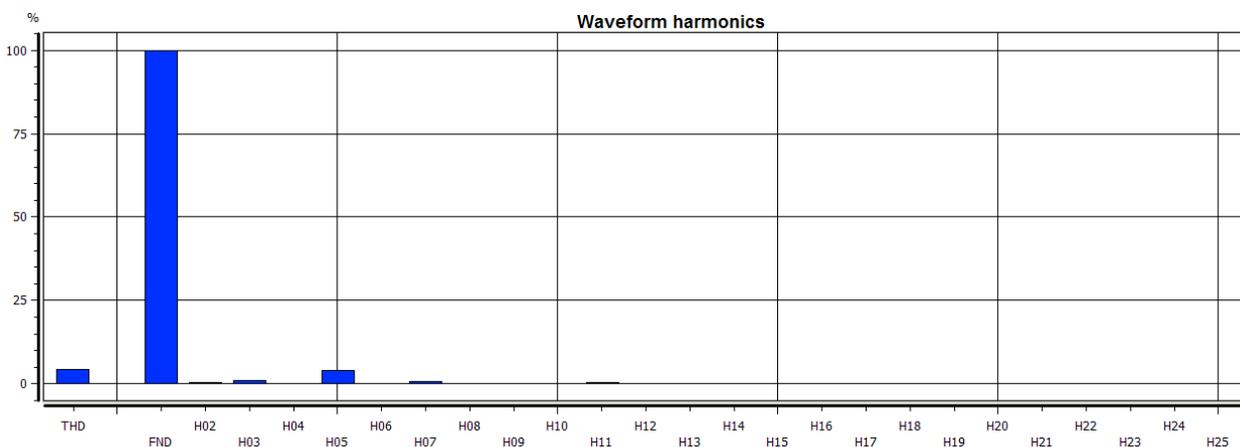
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,1%.

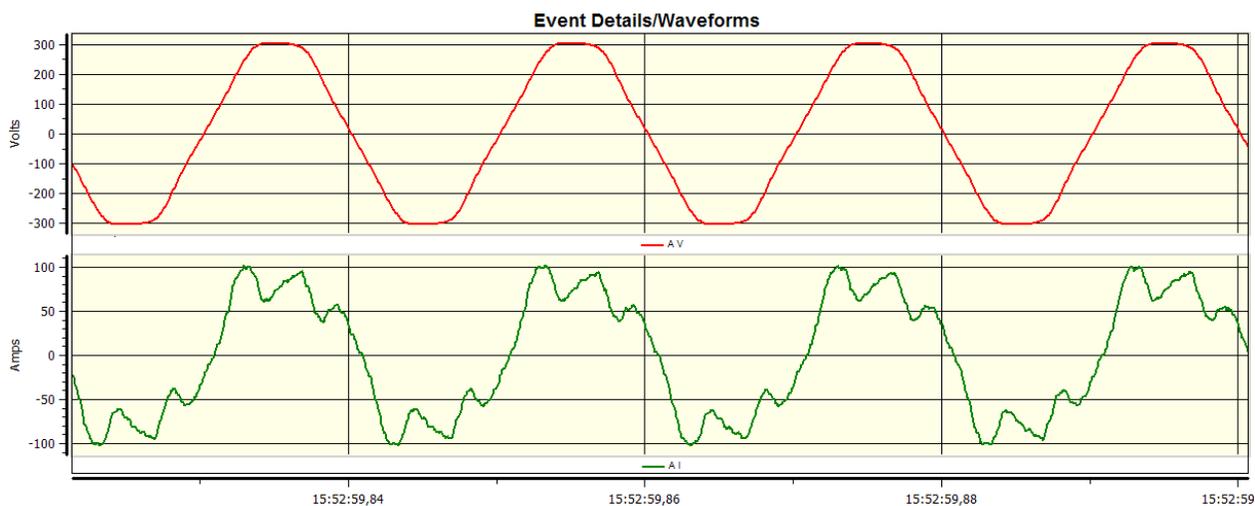


Fase S, THDV = 3,92%.

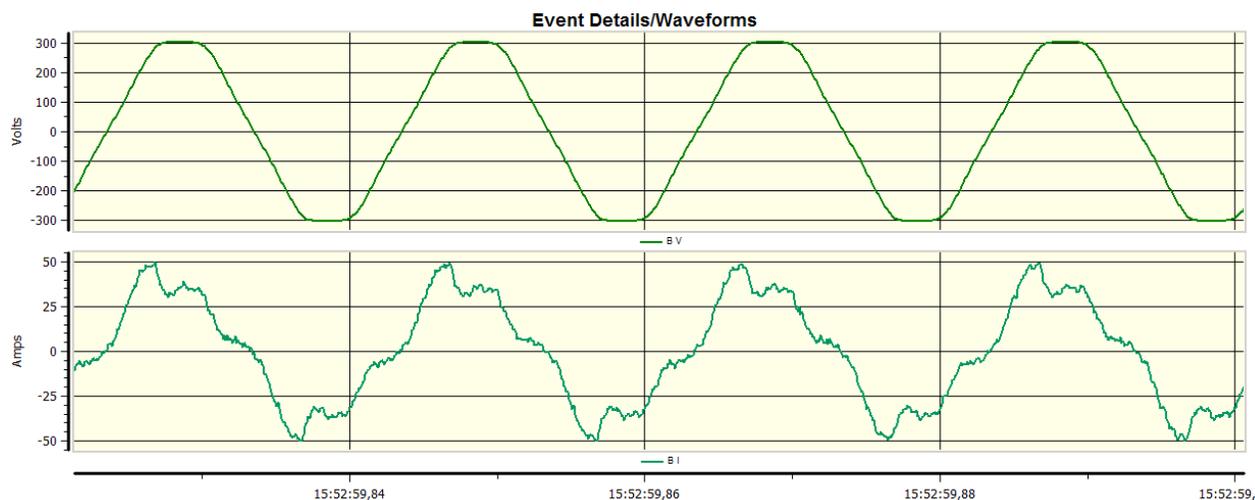


Fase T, THDV = 4,3%.

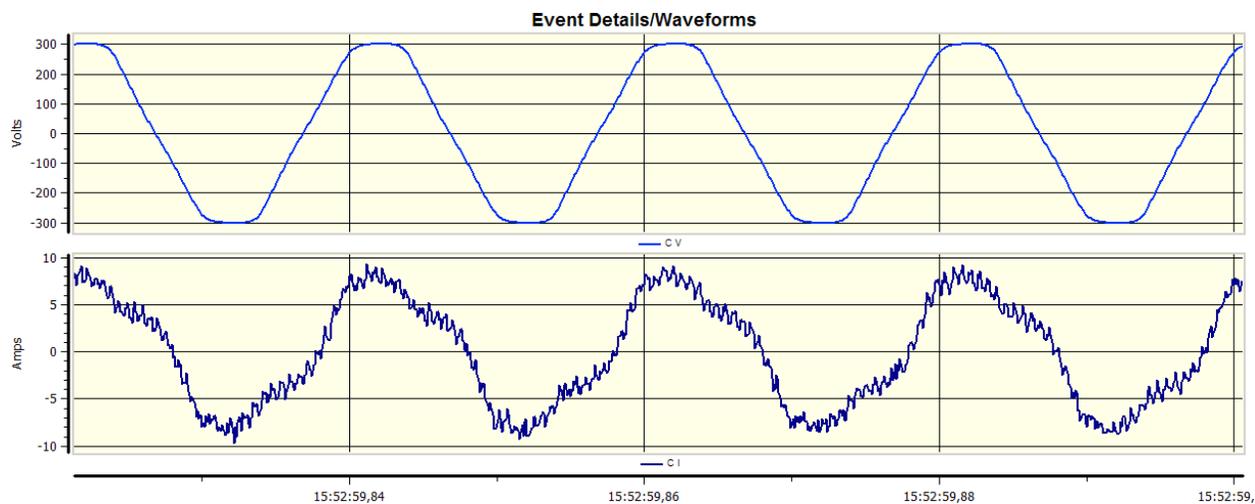
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



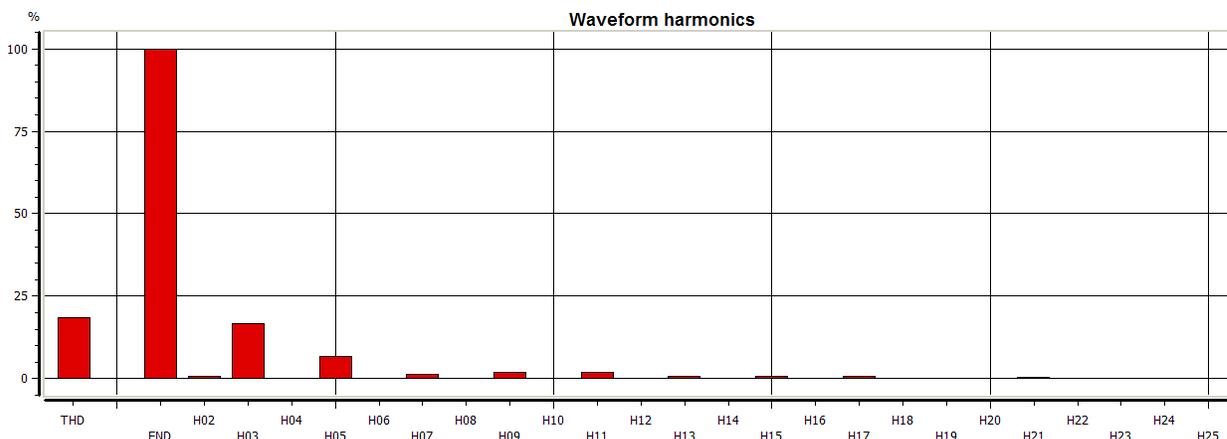
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



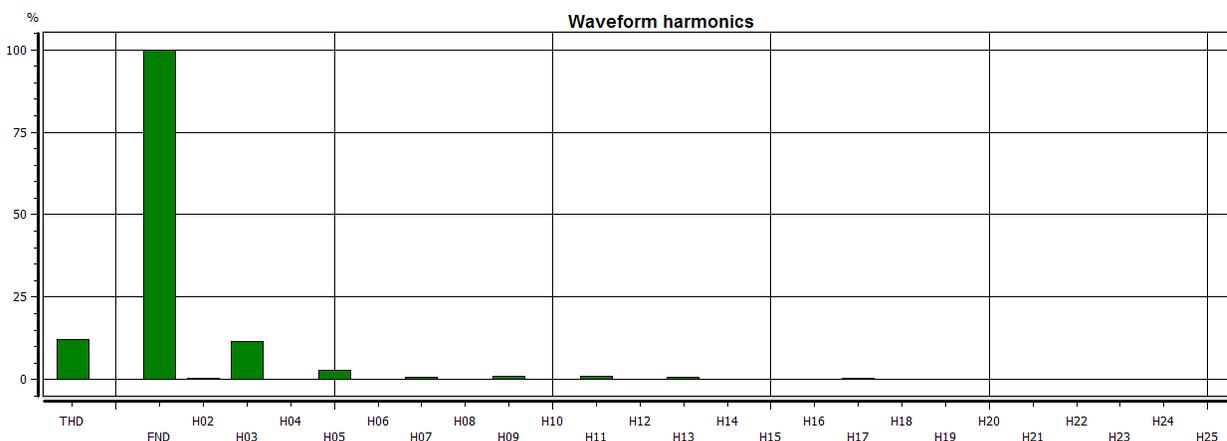
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 3, EDIFICIO GANTES.

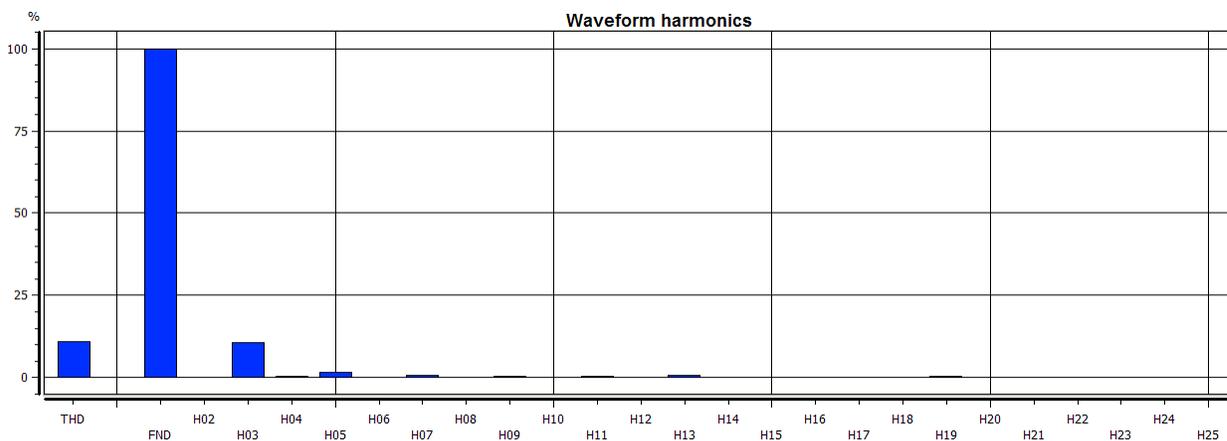
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 18,36%, Armónica dominante H03.

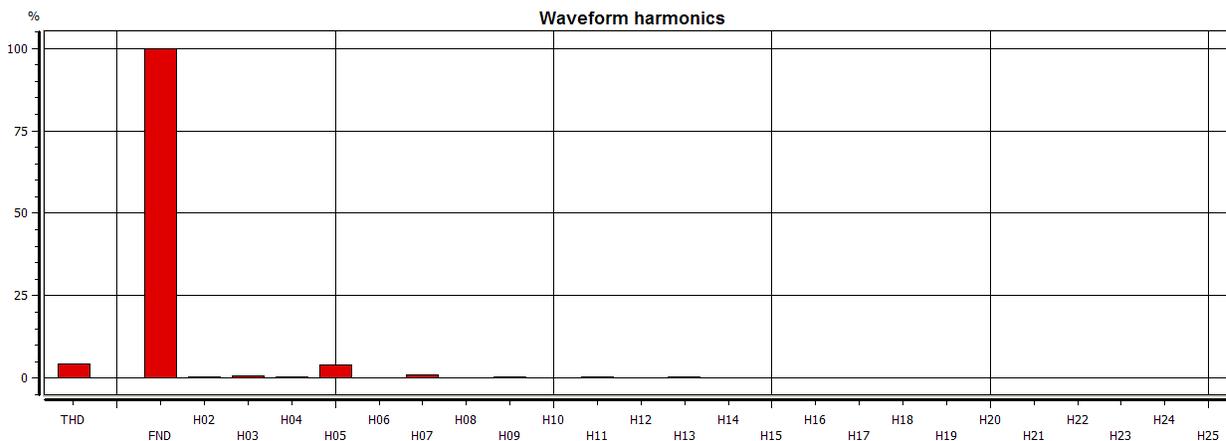


Fase S, THDI = 12,03%, Armónica dominante H03.

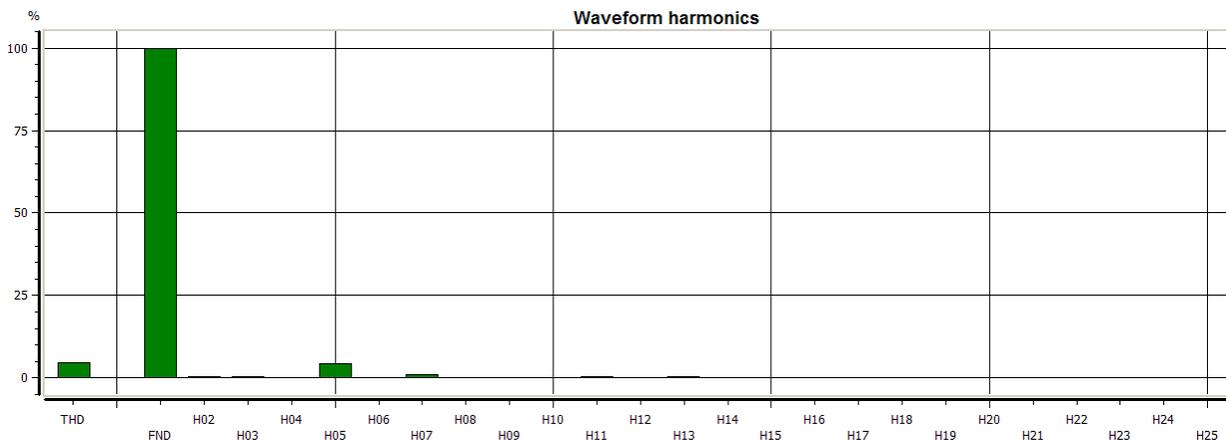


Fase T, THDI = 10,97%, Armónica dominante H03.

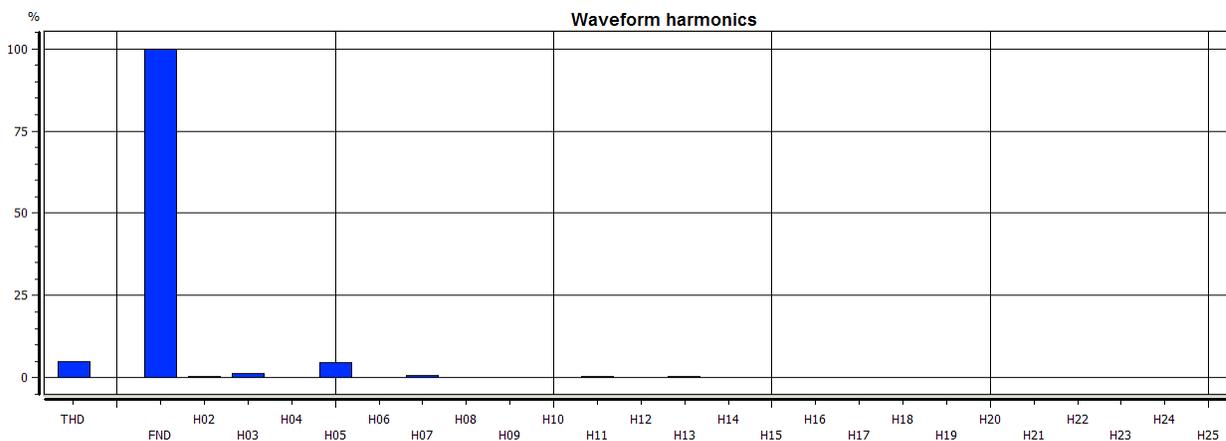
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,46%.

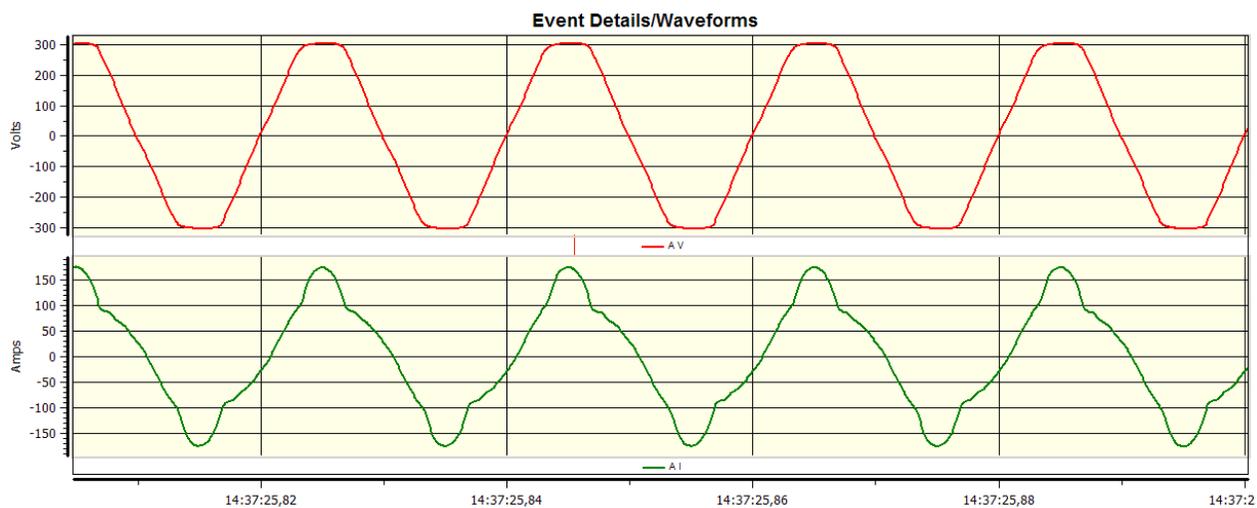


Fase S, THDV = 4,57%.

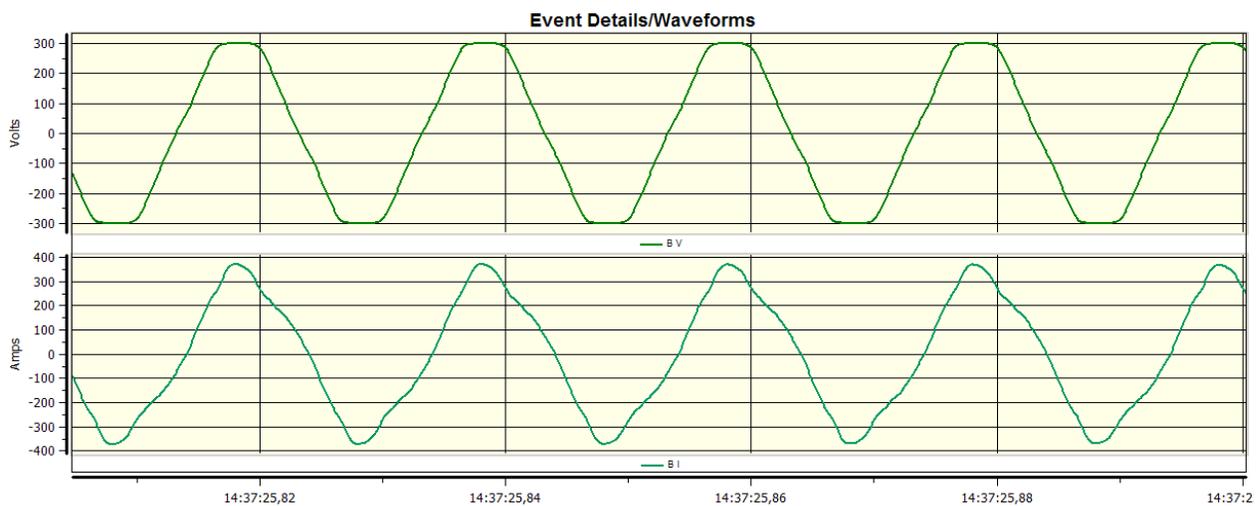


Fase T, THDV = 5,02%.

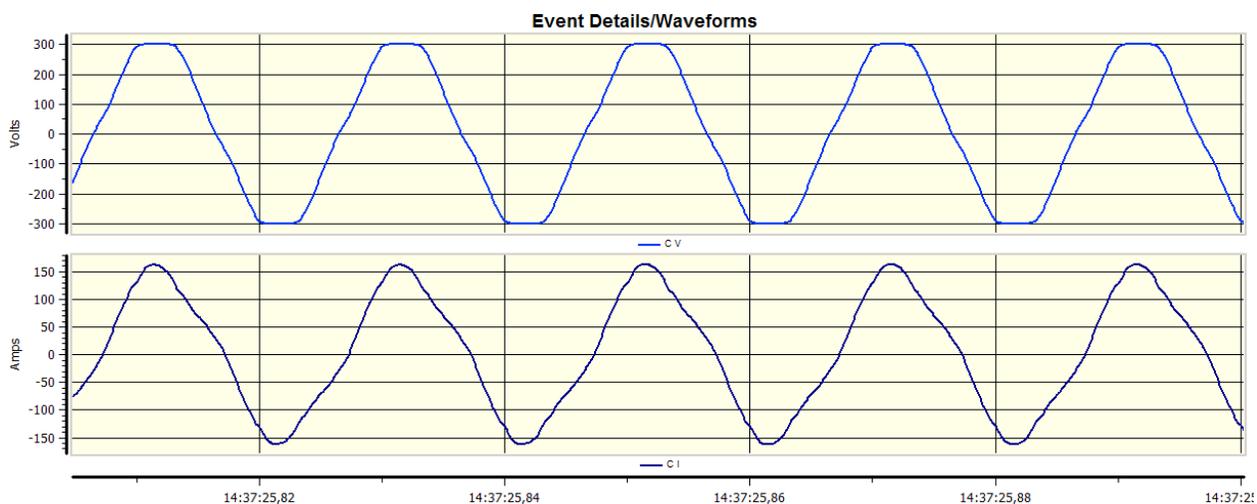
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



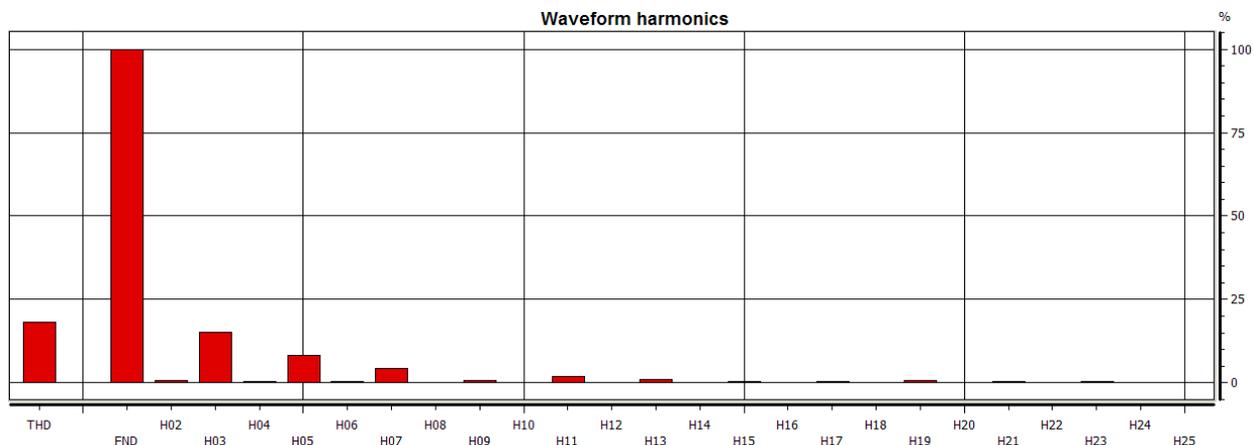
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



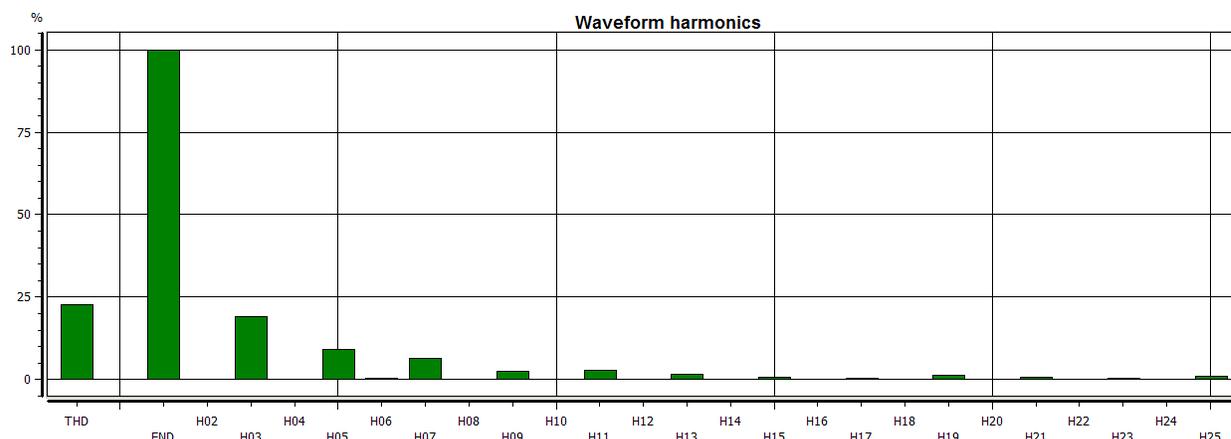
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 5, CASINO

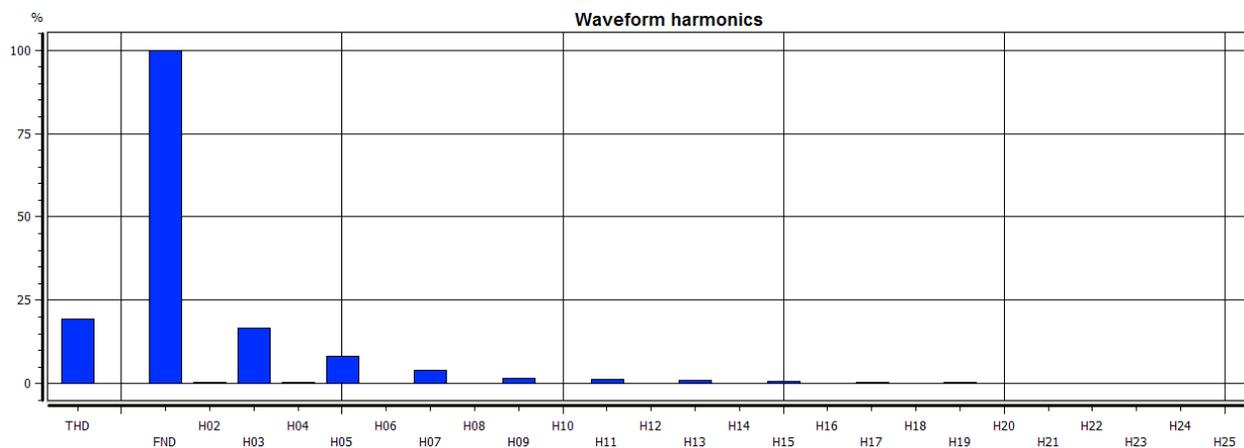
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 18,08%, Armónica dominante H03.

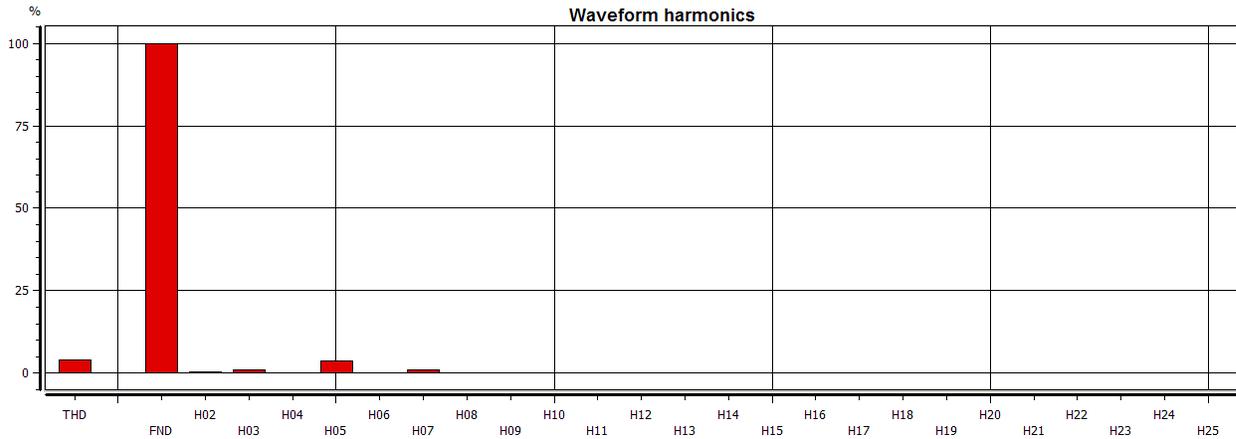


Fase T, THDI = 22,73%, Armónica dominante H03.

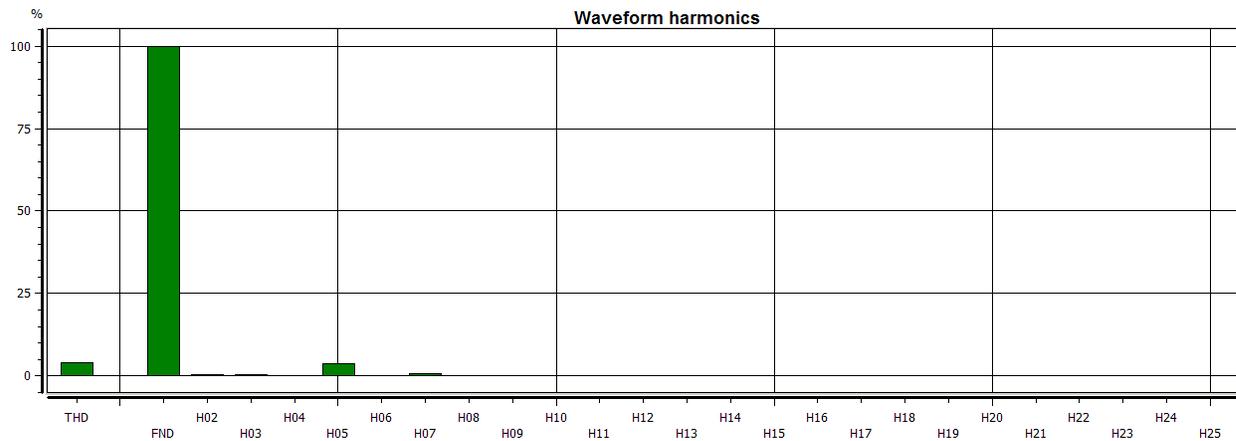


Fase S, THDI = 19,33%, Armónica dominante H03.

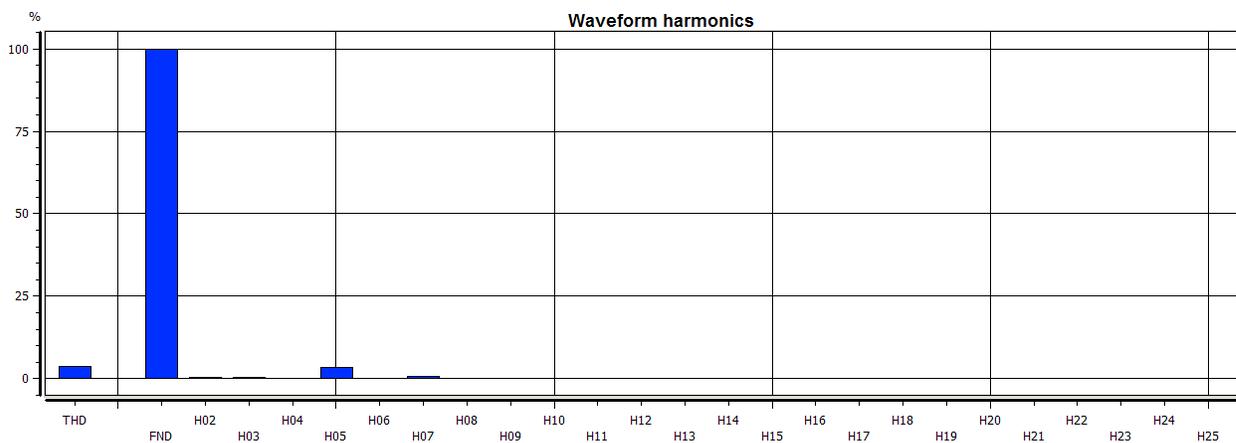
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,19%.

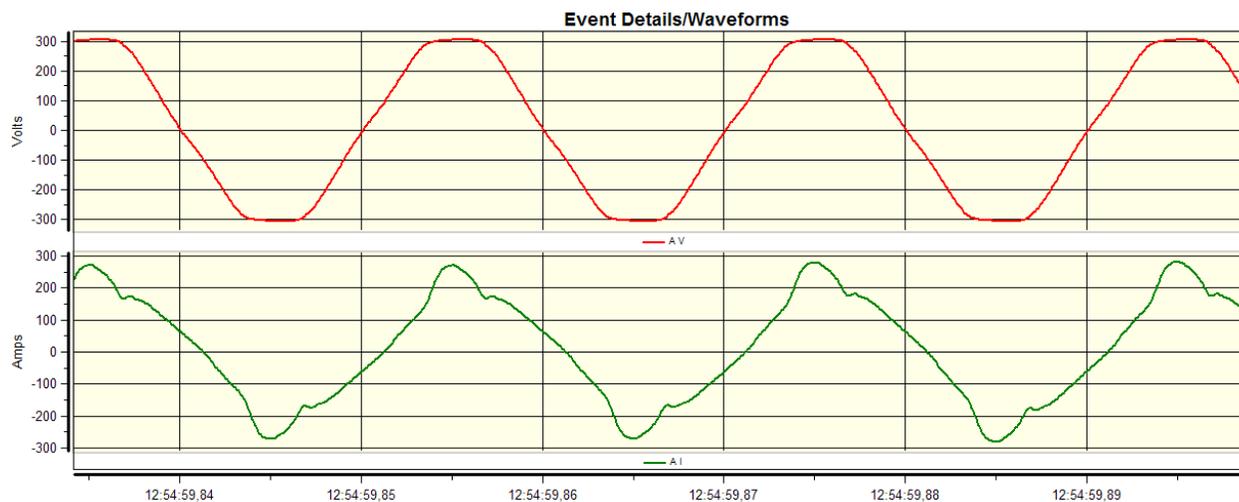


Fase T, THDV = 3,89%.

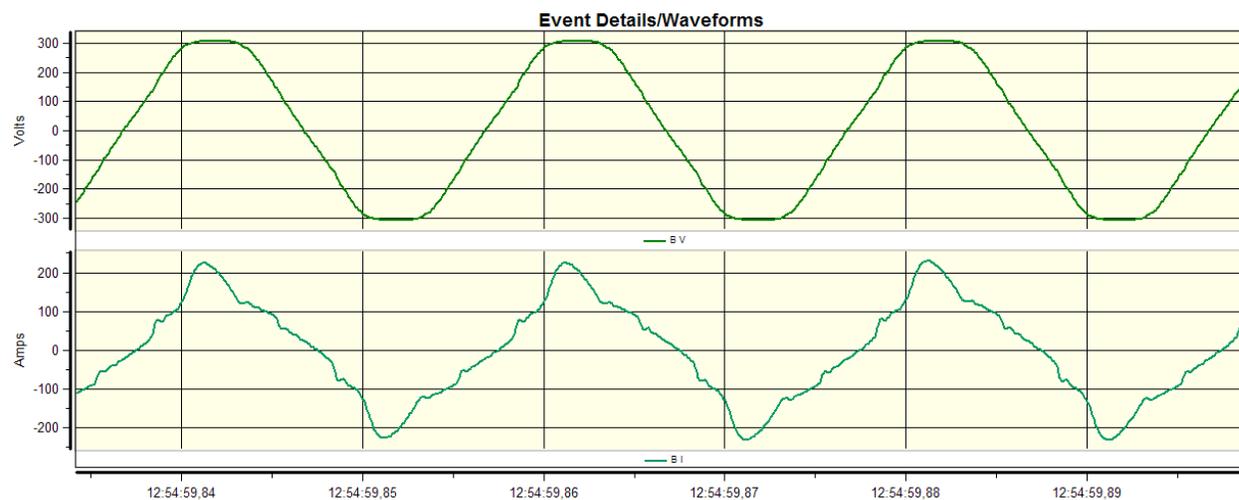


Fase S, THDV = 3,64%.

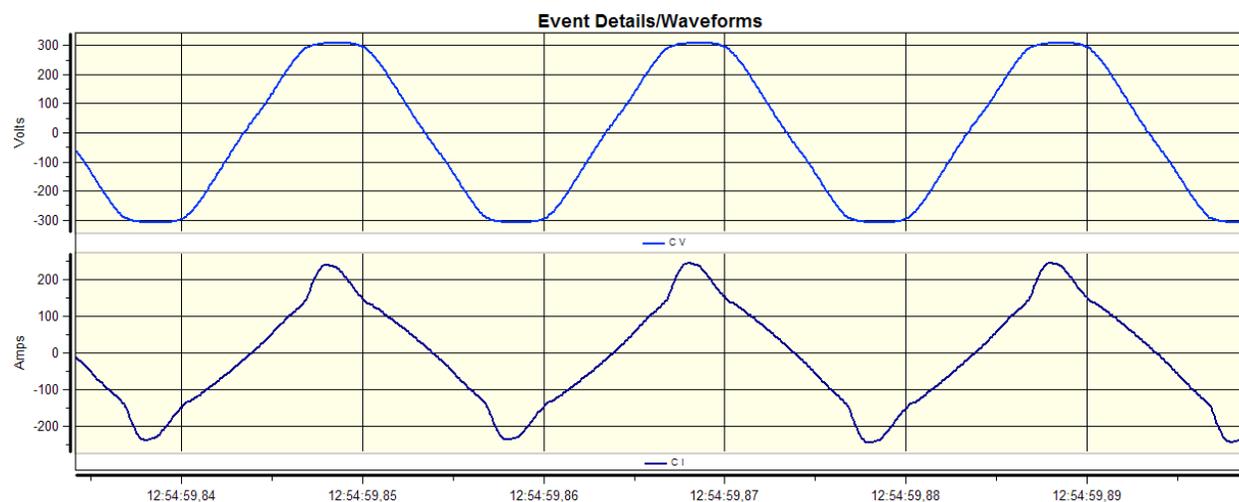
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



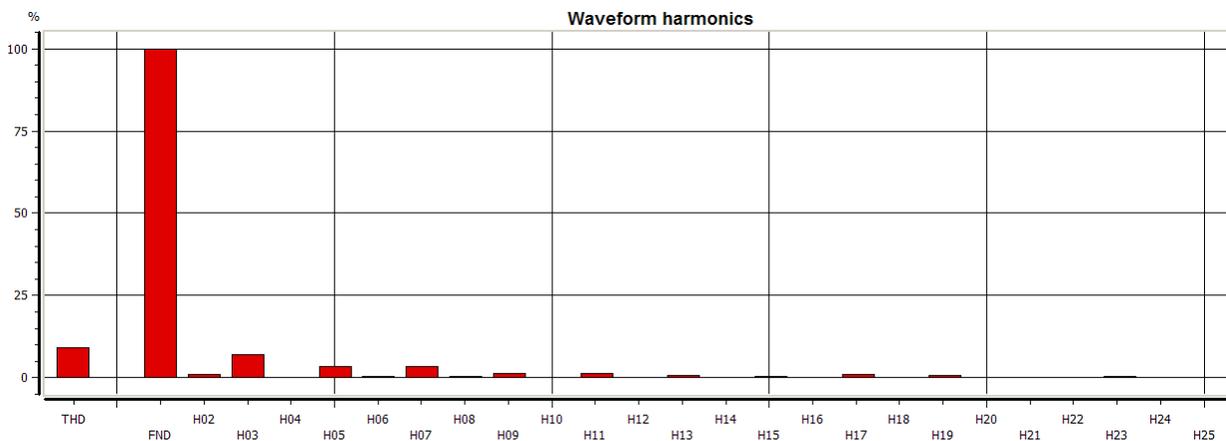
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



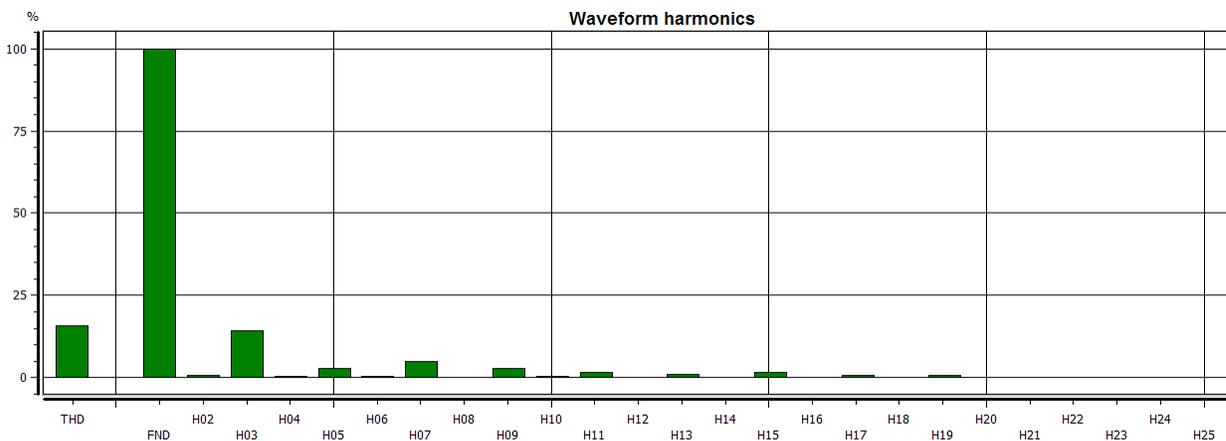
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 6, RADIO

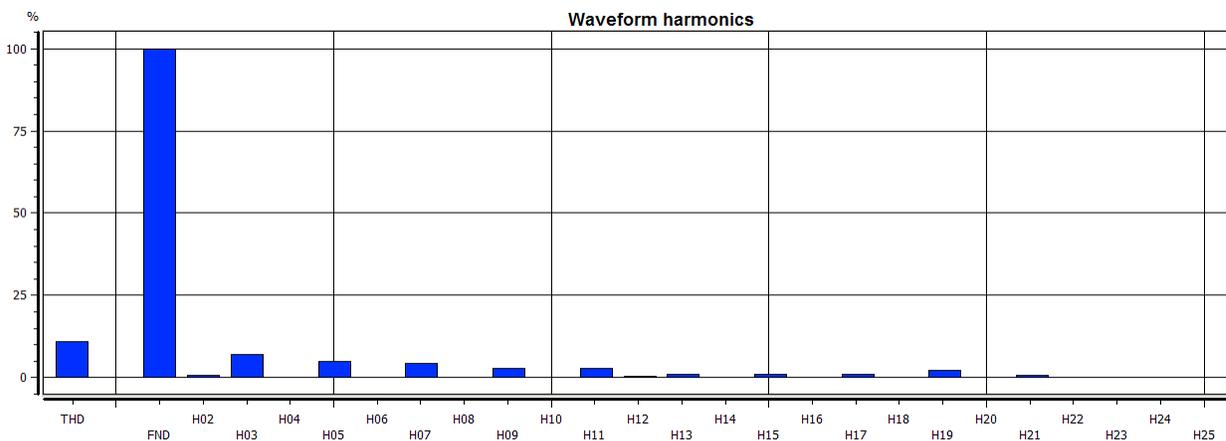
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 9,06%, Armónica dominante H03.

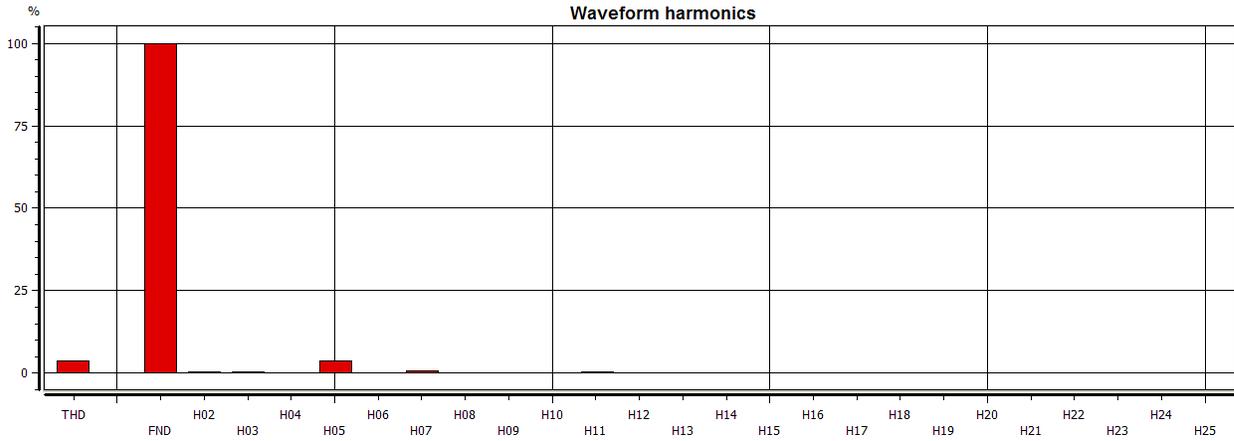


Fase S, THDI = 15,8%, Armónica dominante H03.

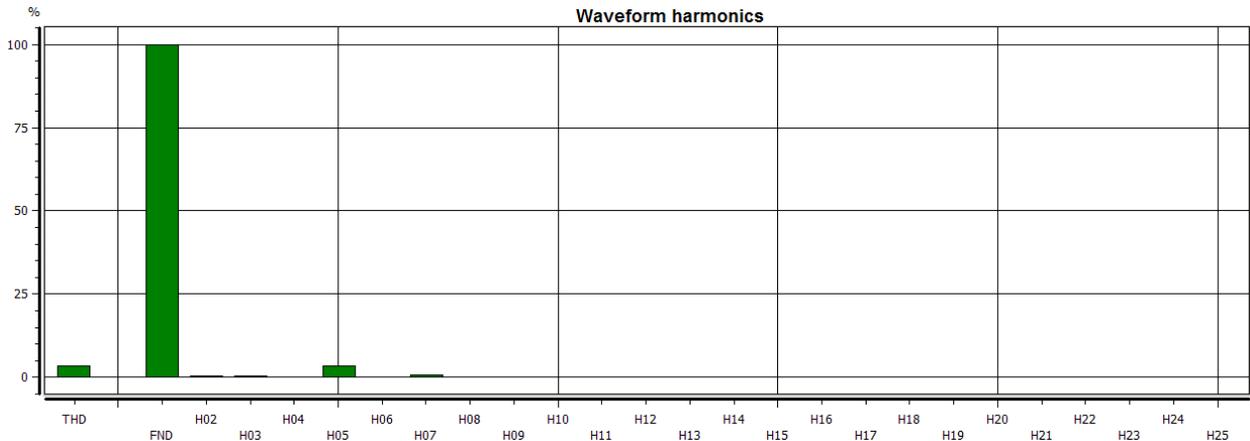


Fase T, THDI = 10,85%, Armónica dominante H03.

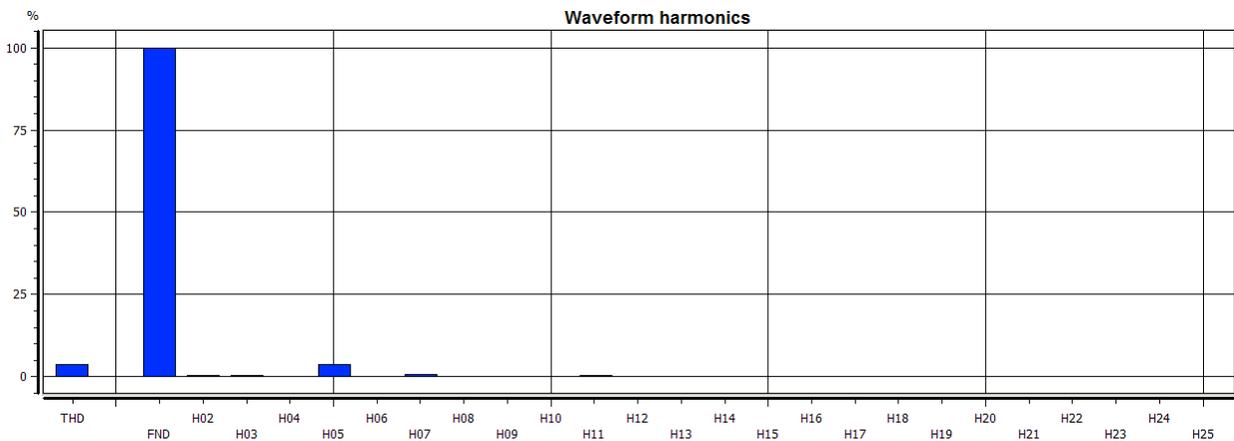
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 3,89%

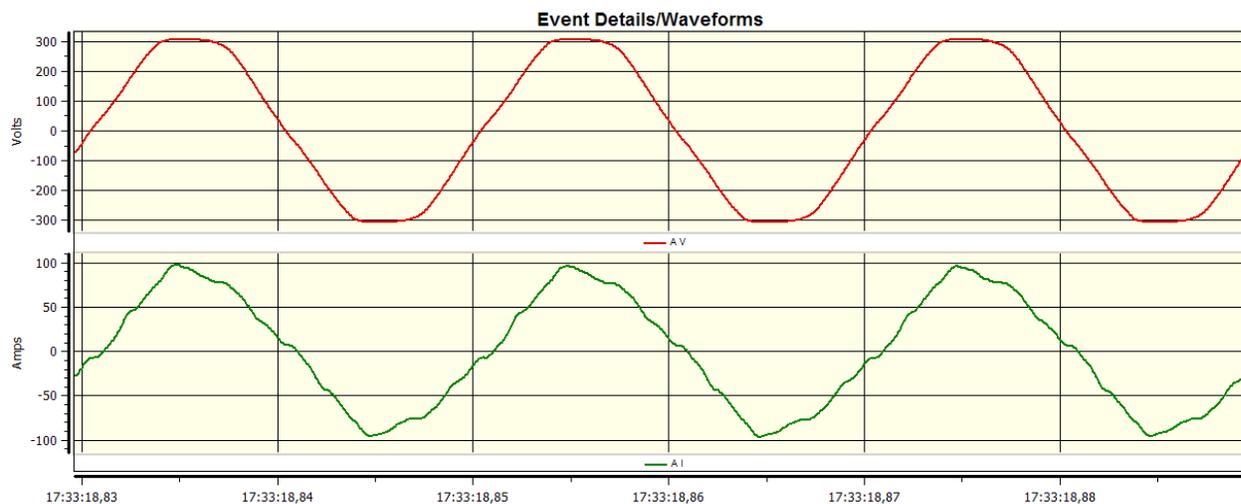


Fase S, THDV = 3,56%.

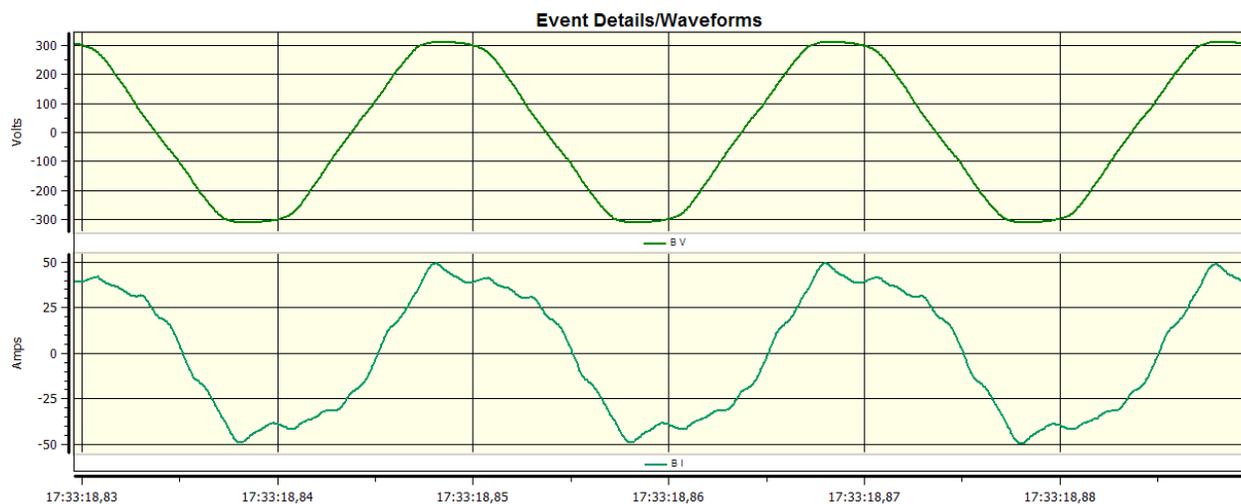


Fase T, THDV = 3,83%.

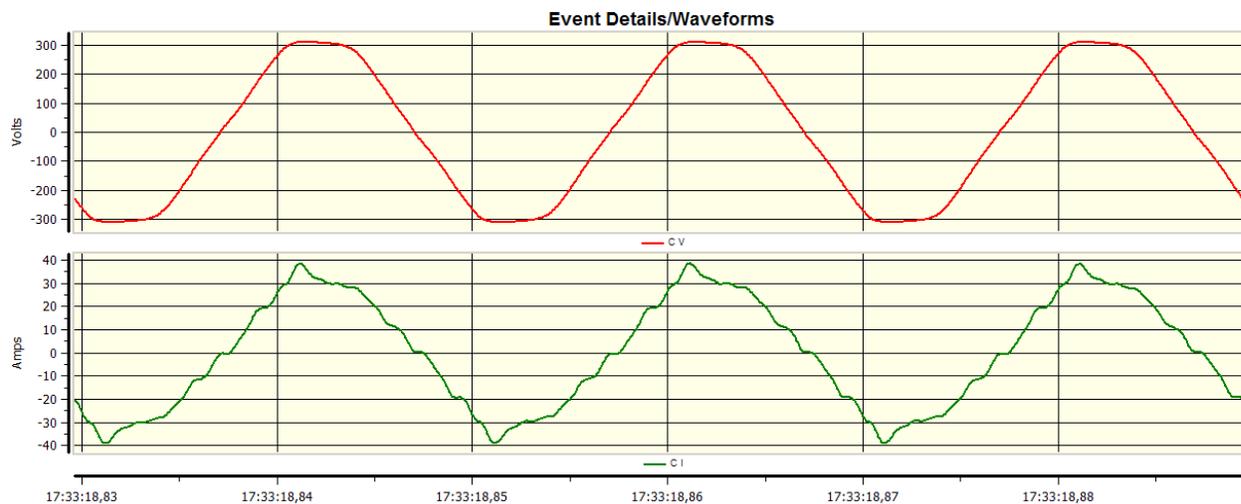
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



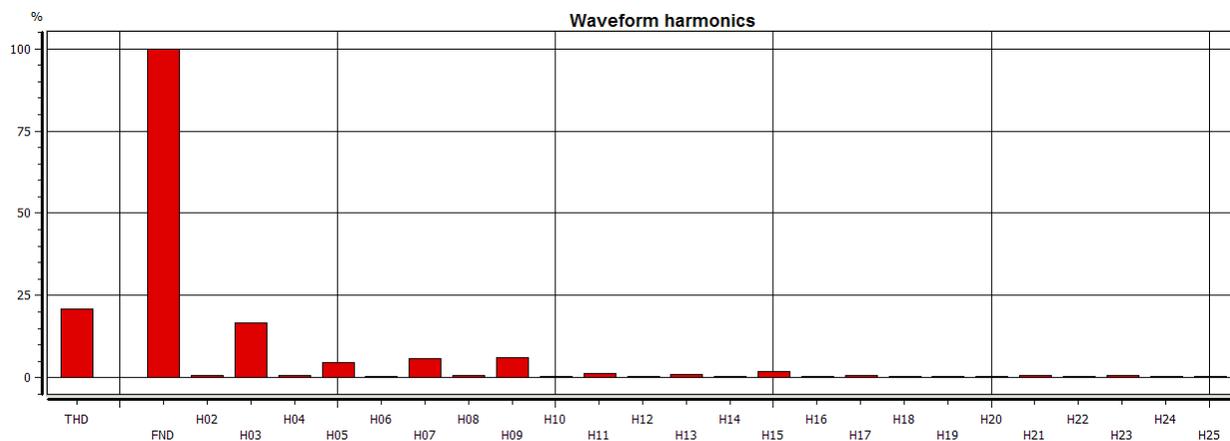
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



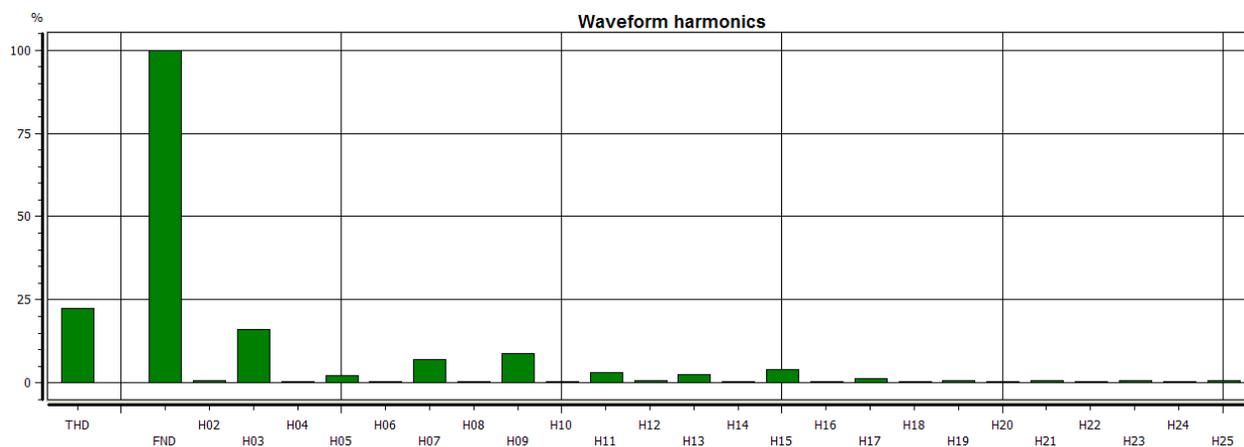
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 7, FONDEF - CATEM

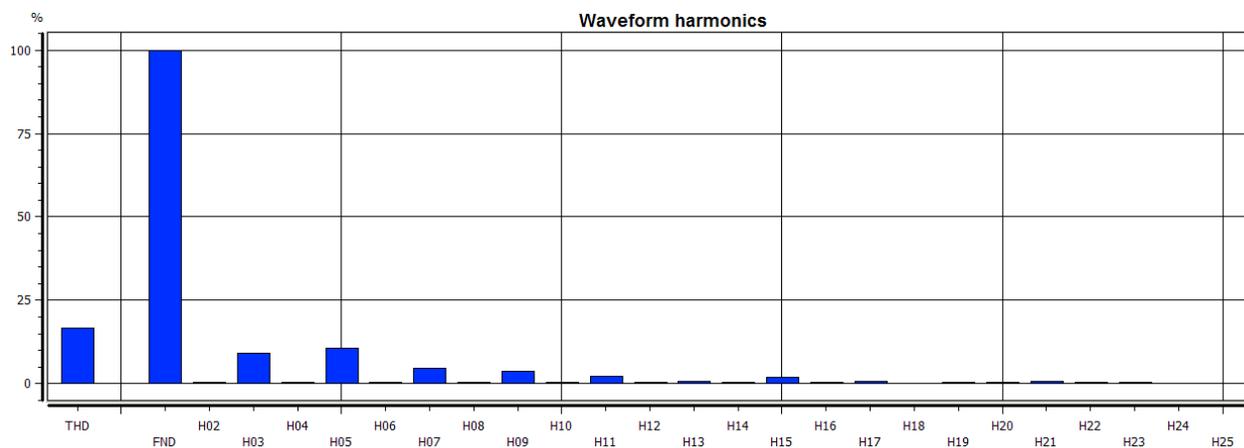
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 21,07%, Armónica dominante H03.

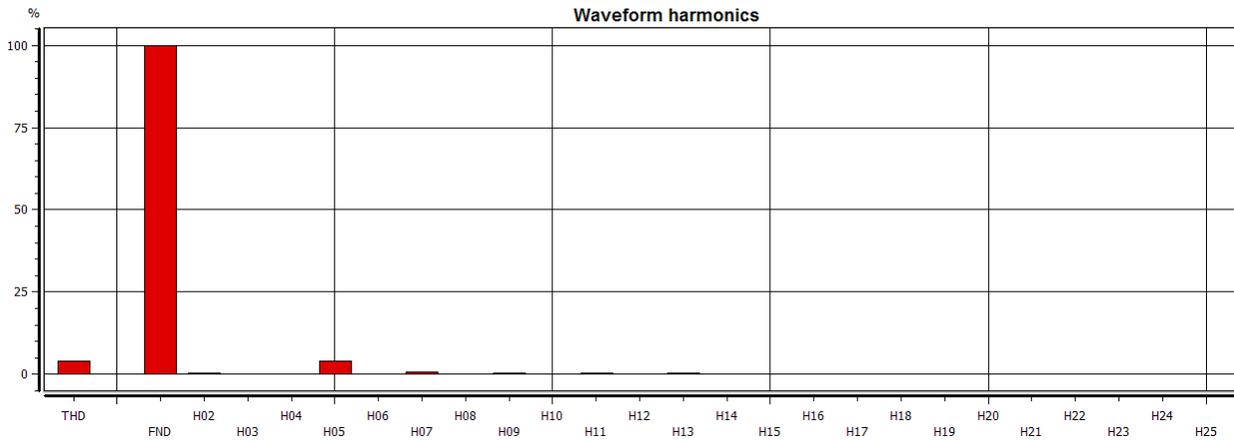


Fase S, THDI = 22,5%, Armónica dominante H03.

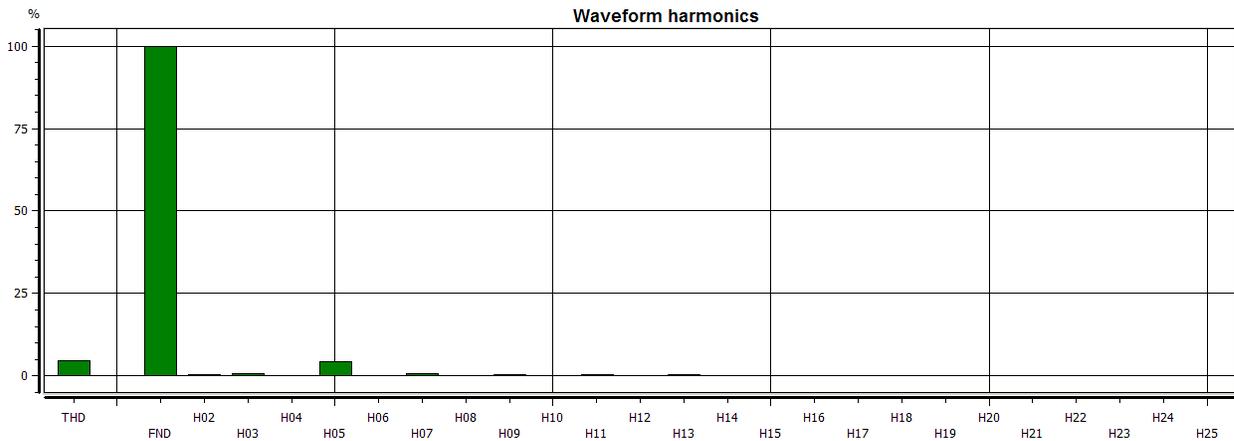


Fase T, THDI = 16,63%, Armónica dominante H05.

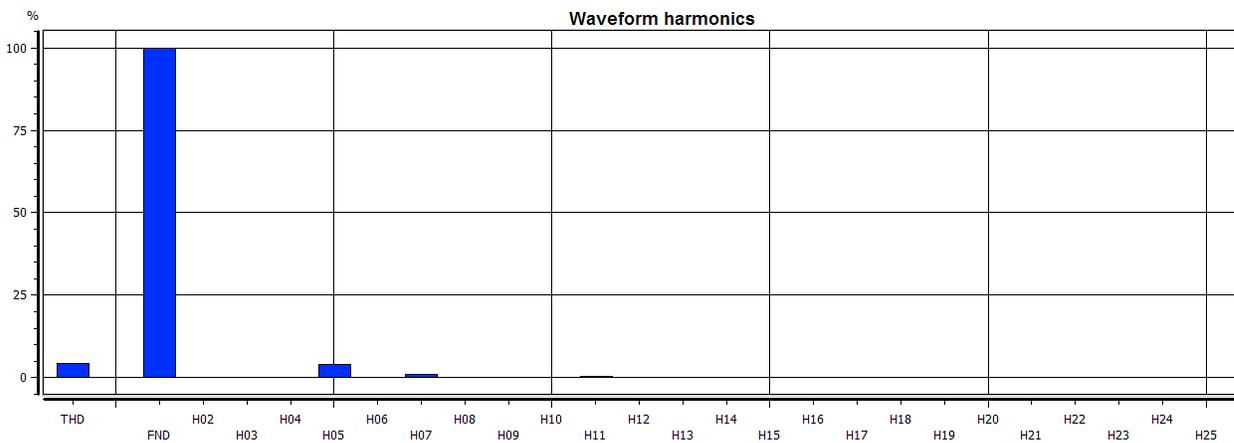
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 4,13% .

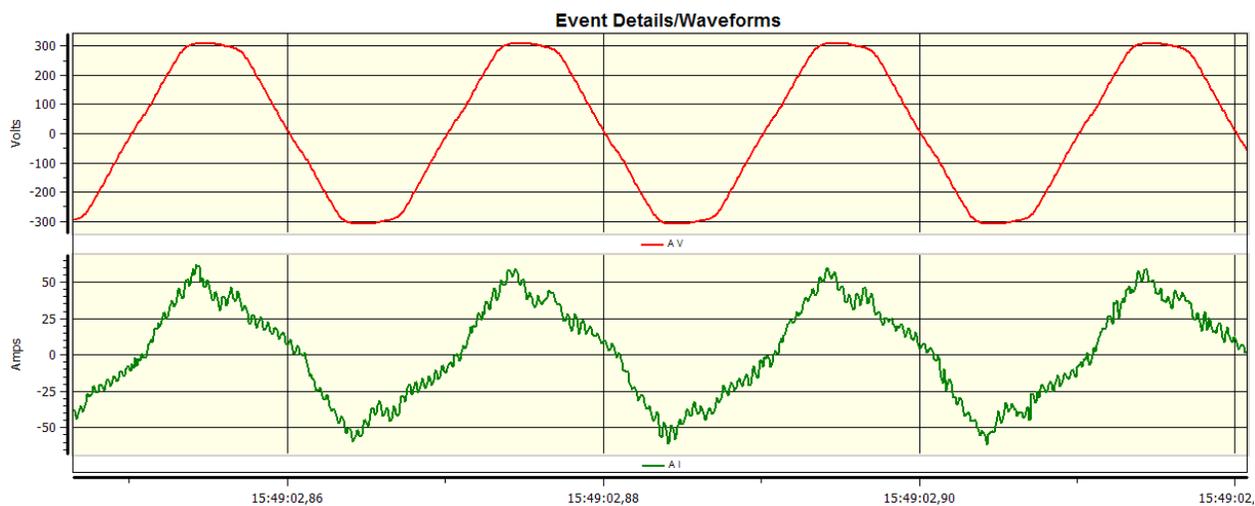


Fase S, THDV = 4,52% .

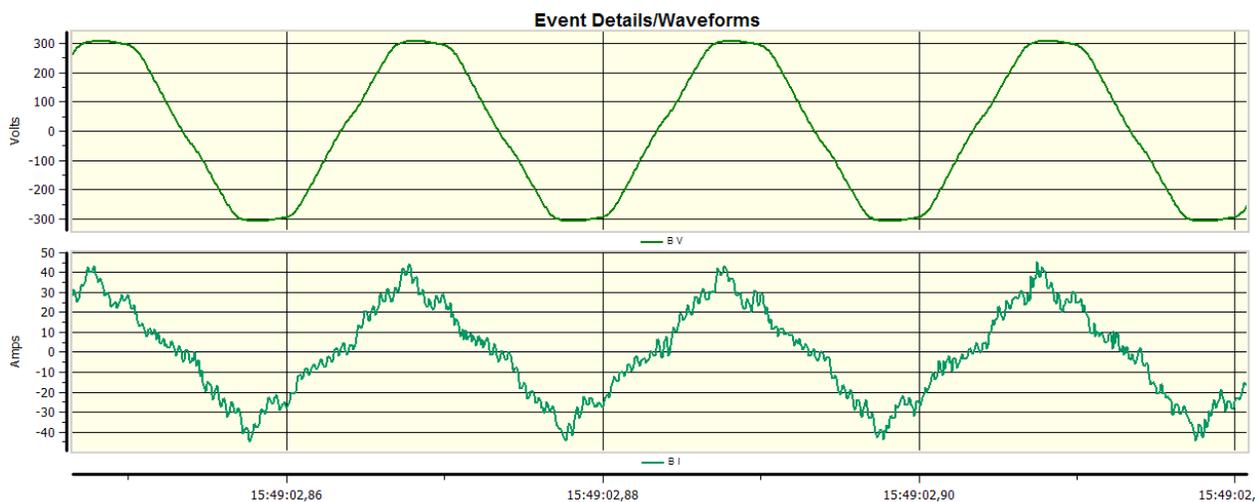


Fase T, THDV = 4,3% .

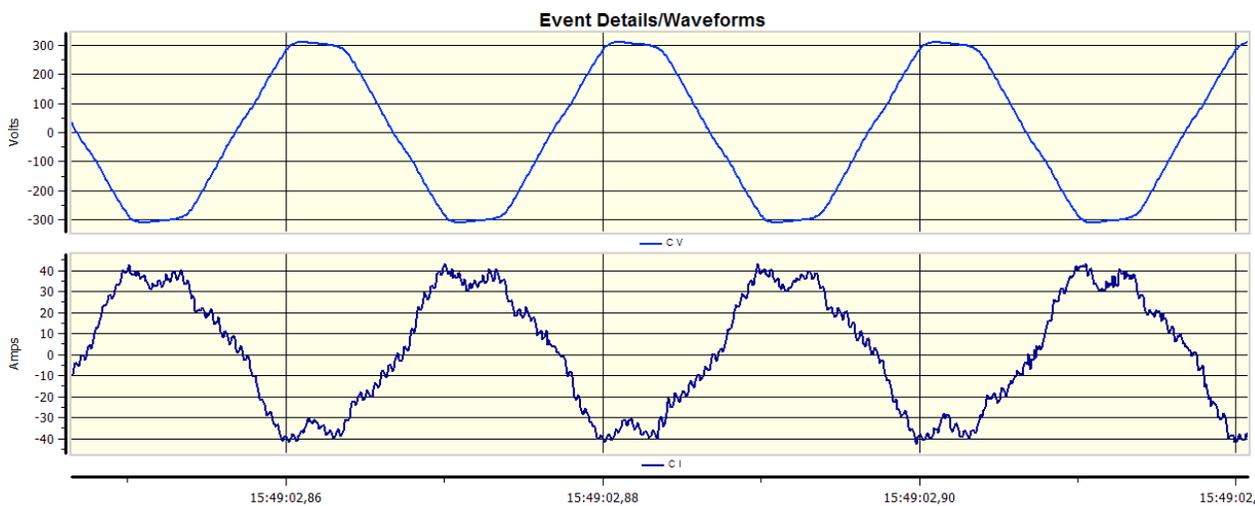
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



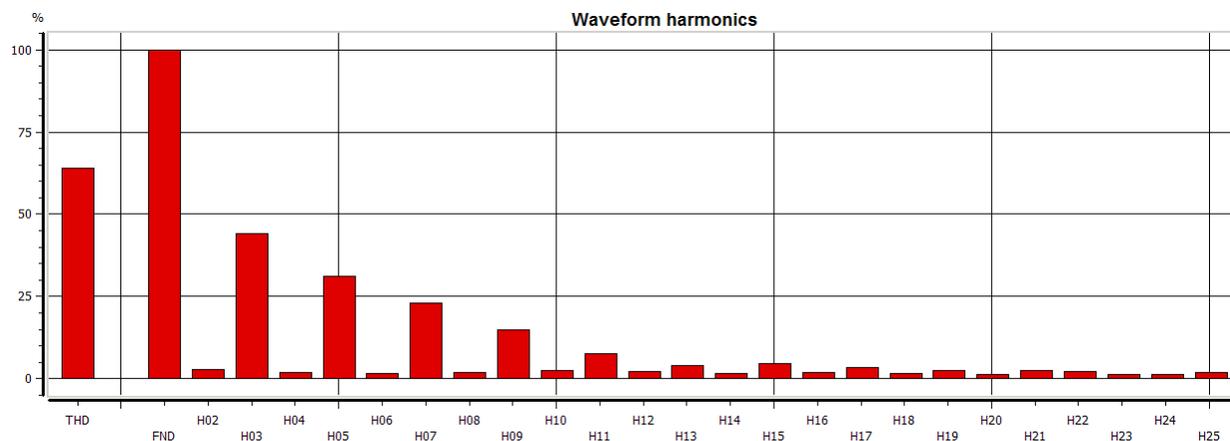
Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



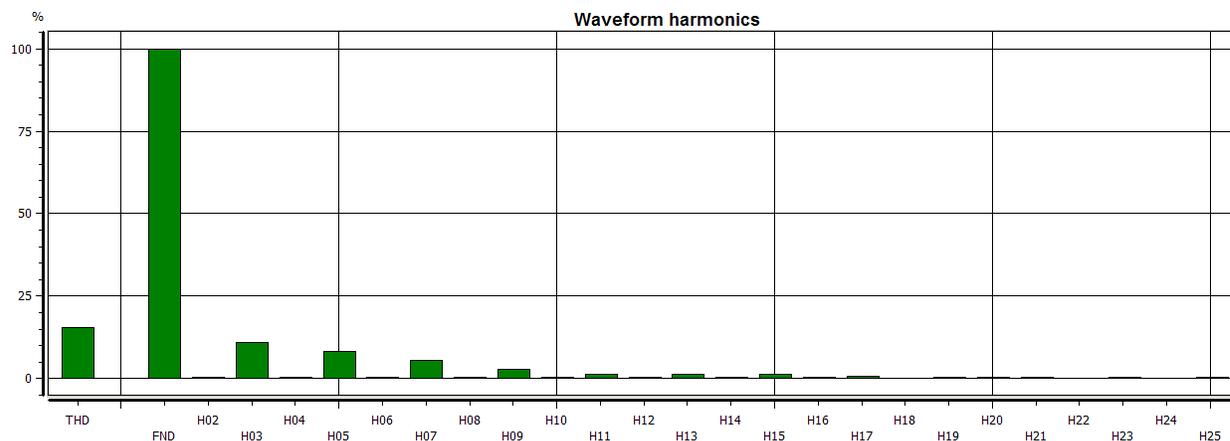
Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

## SS/EE 8, DISEÑO

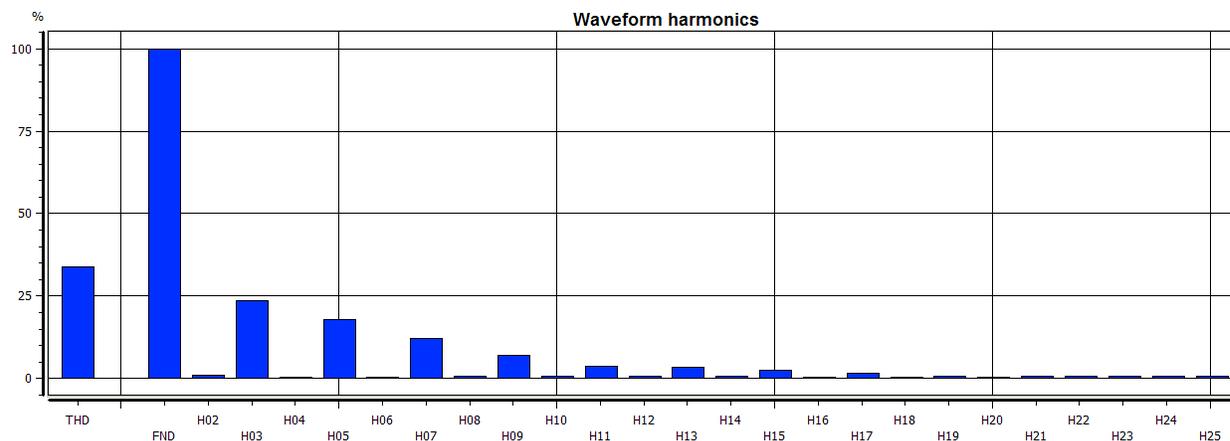
### Espectros Armónicos de Corriente



Fase R, THDI = 63,92%, Armónica dominante H03.

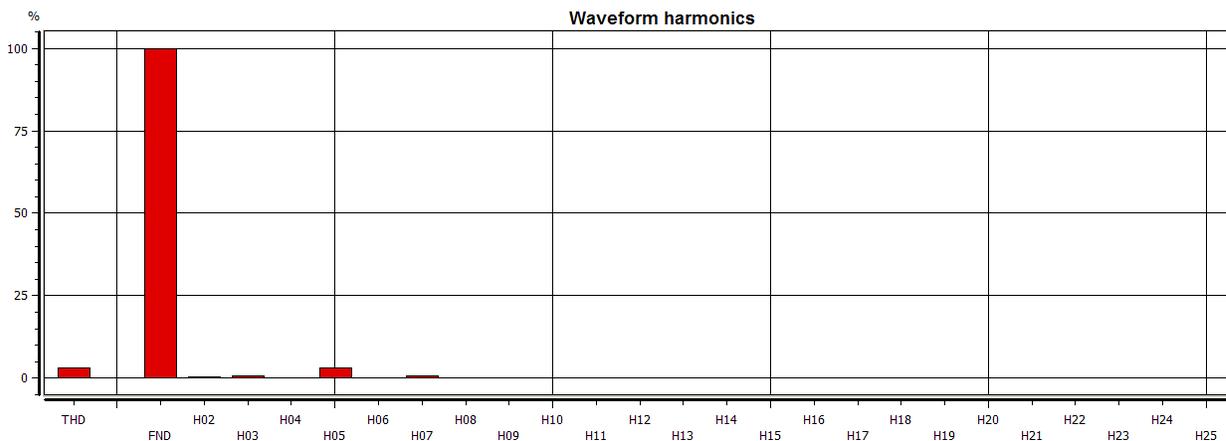


Fase T, THDI = 15,53%, Armónica dominante H03.

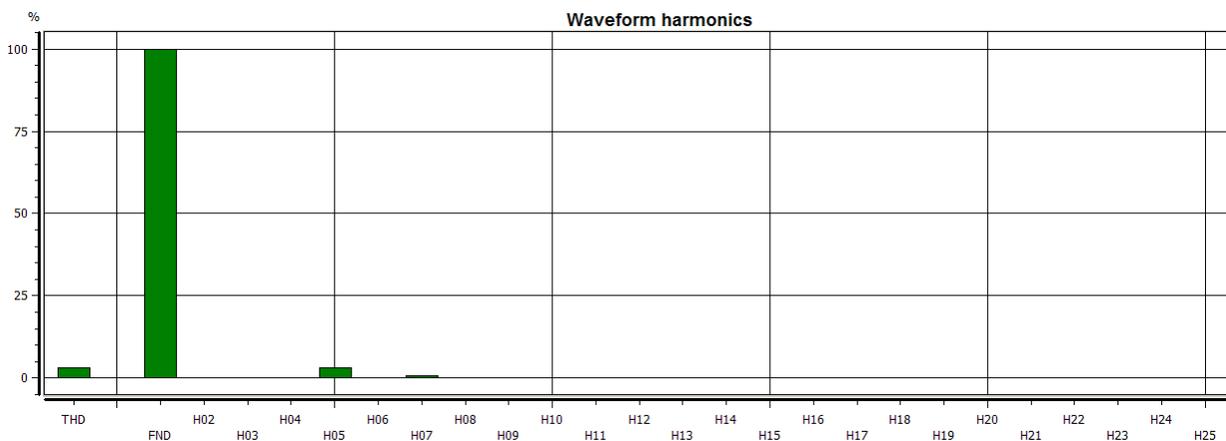


Fase S, THDI = 33,87%, Armónica dominante H03.

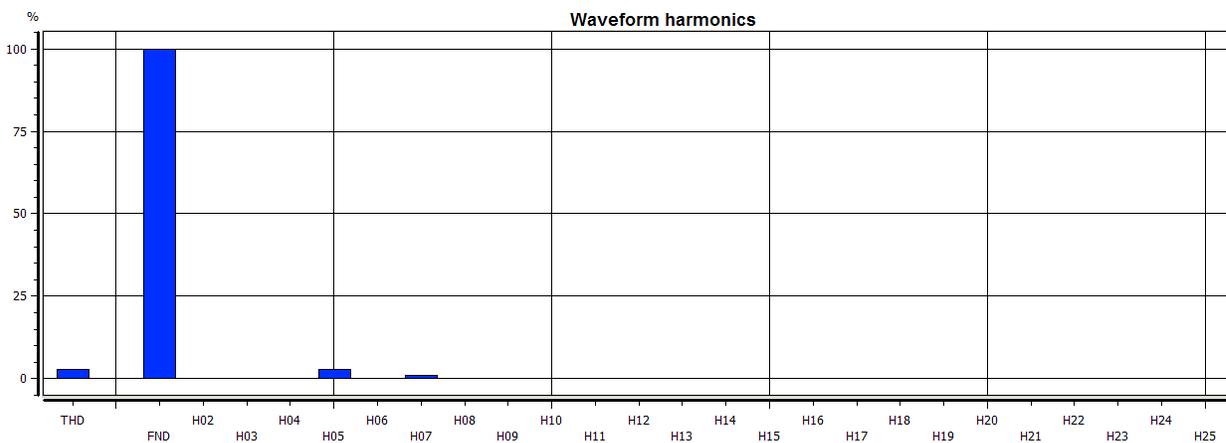
## Espectros Armónicos de Voltaje



Fase R, THDV = 3,22%.

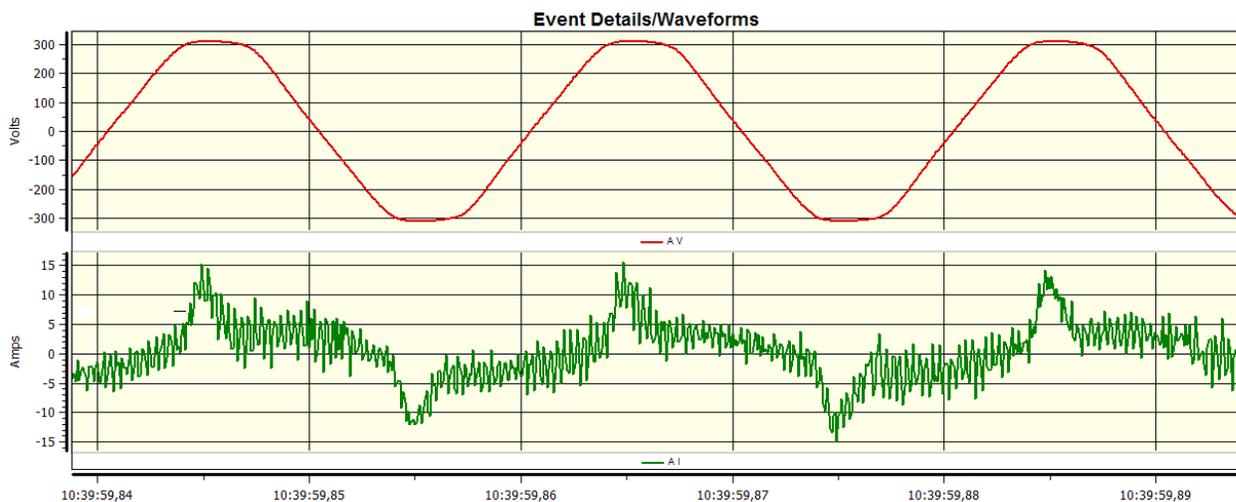


Fase T, THDV = 3,21%.

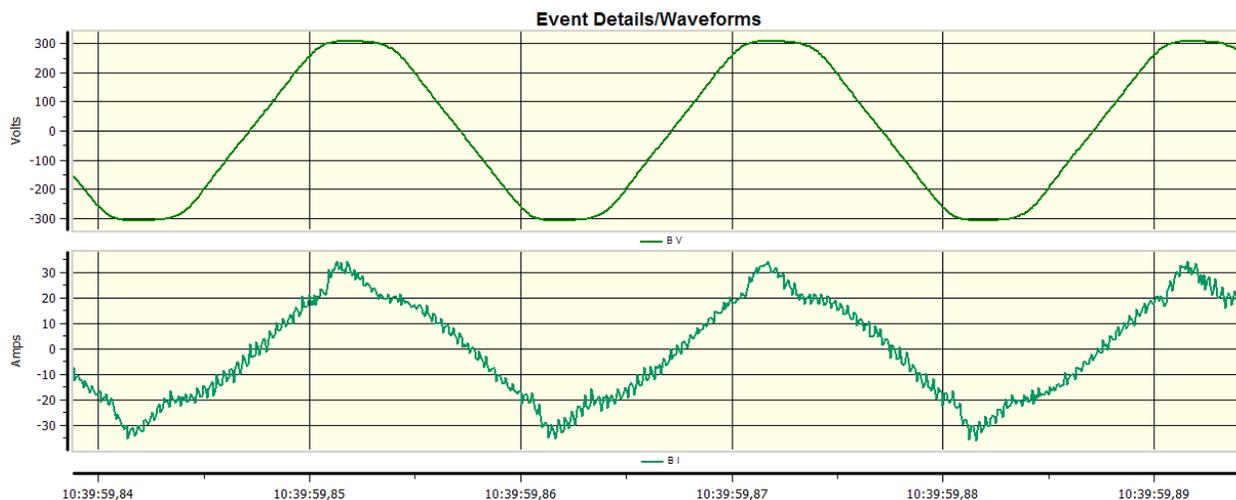


Fase S, THDV = 2,87%.

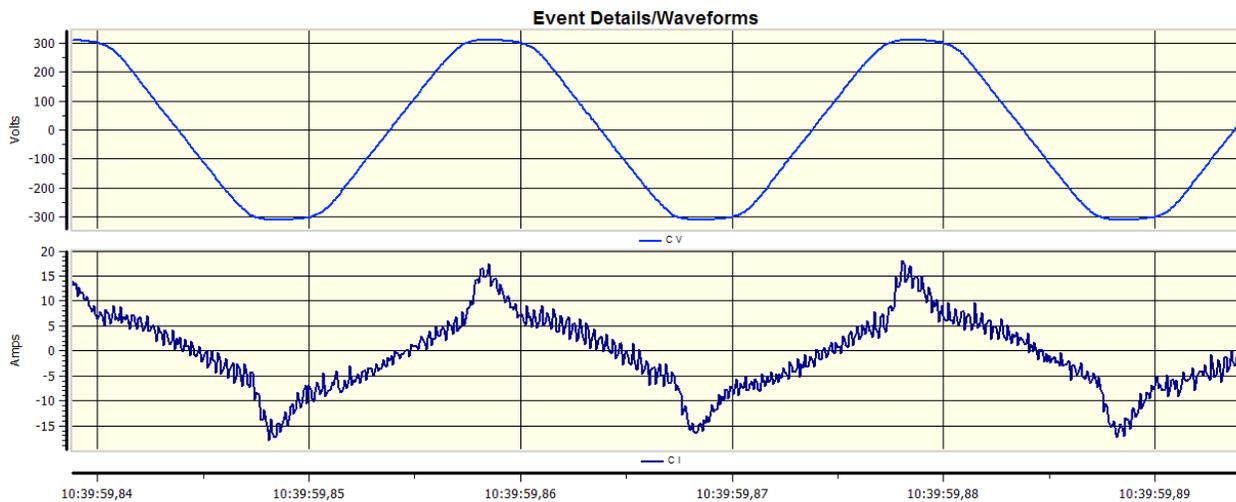
## Formas de Onda



Fase R, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



Fase T, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.



Fase S, Ondas de Voltaje máx. y Corriente máx.

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FILTROS



www.mgeups.com

Telecomunicaciones



Centros de Datos



Procesos & Infraestructuras



## Compensador activo de armónicos **SineWave**

20/30/45/60/90/120 A

La compensación de armónicos global y adaptable

### Un mejor funcionamiento de las aplicaciones

Al neutralizar los armónicos, SineWave evita:

- ▶ que los disyuntivos se disparen de manera intempestiva,
- ▶ un envejecimiento prematuro de los equipos.

### Un total cumplimiento de la normativa actual

SineWave ya satisface el triple dispositivo normativo que entra en vigor a partir de ahora:

- ▶ normas para los aparatos:
  - > CEI 61000-3-2 o EN 61000-3-2
  - > CEI 61000-3-4 o EN 61000-3-4
- ▶ normas para la calidad de las redes: EN 50160 y IEEE 519
- ▶ normas de compatibilidad entre redes eléctricas y productos:
  - > CEI 61000-2-2 y recomendaciones CIGRE (Conferencia Internacional de Grandes Redes Eléctricas)
  - > CEI 61000-2-4.

### Ahorro de energía

SineWave corrige asimismo el  $\cos \phi$ . Menos corriente y un  $\cos \phi$  próximo a 1 suponen una reducción de la potencia aparente.

### Una integración enormemente sencilla

- ▶ SineWave es extremadamente compacto. Puede fijarse en la pared o bien integrarse en un cuadro eléctrico de distribución.
- ▶ SineWave se conecta en paralelo, lo que permite futuras ampliaciones sin interrupción alguna de la alimentación de la carga.
- ▶ SineWave se adapta automáticamente a cualquier carga monofásica o trifásica: informática, variadores de velocidad... Es compatible con todo tipo de régimen de neutro.



### ¿Cómo actúa un compensador activo?

El compensador activo analiza los armónicos consumidos por la carga, generando y devolviéndoselos de inmediato a la misma.

Consecuencia: el compensador activo neutraliza las corrientes armónicas. Así se evita que dichas corrientes vuelvan a circular aguas arriba y que sean introducidas a la fuente.

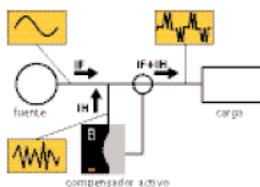


diagrama de funcionamiento del compensador paralelo.  
IF: corriente fundamental HI;  
IH: suma de las corrientes armónicas.

### Una instalación dimensionada en su justa medida

Menos armónicos es sinónimo de menos corriente, y esto tiene varias ventajas:

- ▶ secciones de cables y calibres de los dispositivos de corte inferiores,
- ▶ transformadores, condensadores y grupos electrógenos menos sobrecargados.

El control absoluto de los armónicos para instalaciones de hasta 1000 kVA



Compensación armónica de los sistemas de alimentación conmutadores, servidores, PC...



Neutralización armónica en los variadores de velocidad, los motores de corriente continua...

THE UNINTERRUPTIBLE POWER PROVIDER

**MGE**  
UPS SYSTEMS

## Compensador activo de armónicos - SineWave

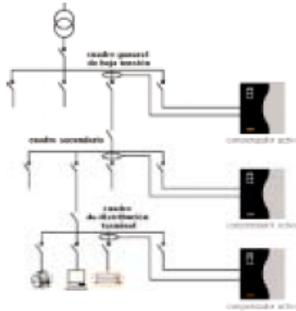


Diagrama de distribución de baja tensión en el que se muestran distintos puntos de inserción de un compensador activo en función del nivel de neutralización armónica deseado.

### Principales prestaciones

- ▶ Compensación global o rango por rango de los armónicos, del rango 3 al rango 25, predeterminable,
- ▶ compensación del factor de defasaje ( $\cos \phi$ ), predeterminable
- ▶ selección del tipo de carga: informática, rectificador...
- ▶ tecnología IGBT y control por circuito DSP,
- ▶ 3 indicadores luminosos de señalización del funcionamiento,
- ▶ visualizador alfanumérico en 7 idiomas,
- ▶ sistema de diagnóstico y mantenimiento,
- ▶ menú de configuración y establecimiento de parámetros,
- ▶ mando a distancia (bloqueable),
- ▶ redundancia y puesta en paralelo,
- ▶ gran variedad de dispositivos de toma de corriente...

### Opciones de comunicación asociadas

#### Tarjeta JBus/ModBus (opcional)

Para conectar el UPS a un sistema de gestión del edificio.

#### Tarjeta de Información de estados

Para transmitir los estados del UPS en forma de 3 contactos libres de potencial.

### MGE PowerServices™

#### Garantía de 1 año.

#### Oferta de servicios complementarios (1)

- ▶ Puesta en servicio: puesta en funcionamiento de su instalación de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- ▶ Teleservicio: control a distancia de los UPS a través de la red telefónica.
- ▶ Contratos de mantenimiento: toda una gama de programas de mantenimiento adaptados.
- ▶ Auditoría de las instalaciones: análisis y propuestas adaptadas al entorno técnico.

50

1: Varía en función del país; consultar [www.mgeups.com/services](http://www.mgeups.com/services).

### ¿Dónde colocar un compensador activo?

Para el tratamiento de los armónicos es necesario conocer con detalle la instalación objeto de estudio.

En las instalaciones nuevas, se aconseja calcular en el momento de su concepción el factor de distorsión armónica en distintos puntos clave.

En las instalaciones ya existentes, es preferible recurrir a la intervención in situ de un experto con el fin de realizar un diagnóstico completo con las mediciones de valores necesarias.

En cualquier caso, conviene decidir cuál es el objetivo prioritario:

#### ▶ o bien la adecuación al cumplimiento de la normativa

La compensación activa debe situarse preferiblemente aguas arriba de la instalación (punto de inserción próximo a la conexión con la red de suministro eléctrico),

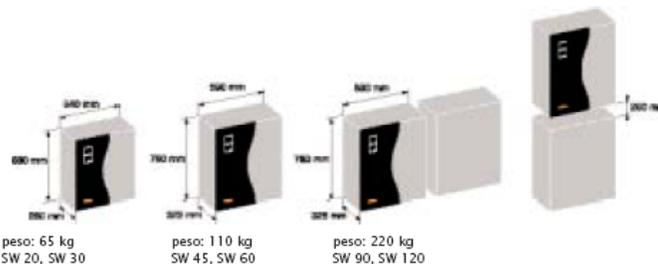
#### ▶ o bien la reducción del nivel de distorsión armónica de la instalación

En este caso, se pretende neutralizar los armónicos lo más cerca posible de las cargas no lineales. El compensador o los compensadores activos deberán situarse preferiblemente aguas abajo (distribución secundaria o terminal).

### Características técnicas

Modelo	SW20	SW30	SW45	SW60	SW90	SW120
Capacidad de compensación por fase	20 A eff	30 A eff	45 A eff	60 A eff	90 A eff	120 A eff
Capacidad de compensación en el neutro <sup>1)</sup>	60 A eff	90 A eff	135 A eff	180 A eff	270 A eff	360 A eff
<b>Entrada red</b>						
Tensión nominal <sup>2)</sup>	400 V - 20 + 15 %					
Frecuencia nominal	50Hz, 60 Hz, +/- 8 %					
Número de fases	3 fases con o sin neutro (funcionamiento posible con cargas monofásicas o desequilibradas)					
Dispositivos de toma de corriente	calibres de 300/1 a 4000/1					
<b>Características técnicas</b>						
Corrientes armónicas compensadas	rangos 2 a 25, compensación global o rango por rango					
Índice de compensación armónica	THDI carga / THDI red superior a 1,0, con capacidad nominal del compensador					
Compensación del $\cos \phi$	hasta 1,0					
Tiempo de respuesta	< 40 ms					
Sobrecarga	limitación a la corriente nominal, posibilidad de funcionamiento permanente con limitación					
Corriente de llamada	< 2 veces la corriente nominal de cresta					
Pérdidas	1000 W	1300 W	2100 W	2600 W	4200 W	5200 W
Contaminación acústica (ISO 3746)	< 55 dBA	< 55 dBA	< 60 dBA	< 60 dBA	< 65 dBA	< 65 dBA
Color	RAL 9002					
<b>Condiciones del entorno</b>						
Temperatura de funcionamiento	0 a 30°C permanente, < 25°C recomendada					
Humedad relativa	0 a 95 % sin condensación					
Altitud de funcionamiento	< 1000 m					
<b>Normas de referencia</b>						
Construcción y seguridad	EN 50091-1					
Diseño	CEI 146					
Protección	IP 30 según CEI 529					
<b>Compatibilidad electromagnética</b>						
Emisión conducida y radiada	EN 55011 nivel A					
Inmunidad a las descargas electrostáticas	CEI 1000-4-2 nivel 3					
Inmunidad a los campos radiados	CEI 1000-4-3 nivel 3					
Inmunidad a las ondas de choque	CEI 1000-4-4 y CEI 1000-4-5 nivel 4					

1: capacidad máxima con carga informática de tipo PC y con red trifásica equilibrada. 2: otros valores de tensión: 208 V, 220 V, 480 V, disponibles a petición del cliente.



En caso de la creación de las normativas y de la necesidad de las imágenes de este documento no me comprometo hasta después de una confirmación por parte de nuestros servicios. Toda la marca mencionada pertenece a sus propietarios respectivos. Notificación: MGE UPS SYSTEMS (septiembre de 2004) - Diseño y redacción: 3c-eruditor.com - Edición: Pumpkinmoss: +34 93 79 37 87 66 - Traducción: TTP +34 93 66 64 50.

### MGE UPS SYSTEMS

Ibérica & Latino América  
Avda. Josep Tarradellas, 19-21  
08029 Barcelona (España)  
Tel. + 34 93 495 19 50  
Fax. + 34 93 495 19 75  
SINW023ES

THE UNINTERRUPTIBLE POWER PROVIDER

