

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL DE FABRICACIÓN DE PLACAS DE FIBROCEMENTO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**ALFONSO CARLOS HONORIO MALÁSQUEZ**

**PROMOCIÓN**

**1979 - II**

**LIMA – PERÚ**

**2011**

**CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA  
EMPRESA INDUSTRIAL DE FABRICACIÓN DE  
PLACAS DE FIBROCEMENTO**

Agradezco a mis Padres, a mis hijos y  
mi esposa por el apoyo.

## **SUMARIO**

En el presente Informe de Suficiencia se muestra una descripción de la calidad de energía eléctrica de una Empresa Industrial de fabricación de Placas de Fibrocemento, el estudio y análisis de los efectos de la distorsión armónica de tensión y corriente, así como de la potencia activa y reactiva.

La finalidad de este estudio, mediante las mediciones y cálculos en la Empresa Industrial es la evaluación de la calidad de energía en el sistema eléctrico de baja tensión, se realizaron los registros de las variables eléctricas tales como: tensión y corriente, así como potencia activa y reactiva y también la distorsión armónica de tensión y corriente.

Y así se determinaron las recomendaciones de mejoramiento de la calidad de energía eléctrica teniendo en cuenta las normas técnicas de la calidad de servicios (NTCSE) y recomendaciones de normas internacionales.

Hoy en día una mejor solución de calidad de energía eléctrica es implementar mecanismos para la reducción de estos armónicos, instalando filtros, mejoramiento del factor de potencia, reduciendo la energía reactiva y hacer más viable y mejor el transporte de energía en el sistema eléctrico de potencia.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA INDUSTRIAL</b>	
1.1 Generalidades.	2
1.2 Proceso productivo.	2
1.2.1 Organigrama de la Empresa Industrial.	2
1.2.2 Materia prima.	2
1.2.3 Procesamiento del producto.	3
1.2.4 Procesamiento y control del proceso.	3
1.2.5 Control de calidad.	3
1.3 Sistema Eléctrico de la Empresa.	4
1.3.1 Potencia Instalada en la Empresa.	4
1.3.2 Diagrama eléctrico de la Empresa	5
1.3.3 Transformadores de Distribución.	5
1.3.4 Sistema de Compensación Reactiva.	8
1.3.5 Máxima demanda en la Empresa.	8
1.3.6 Potencia Contratada.	8
1.3.7 Fuentes de Distorsión Armónica.	8
1.3.8 Efectos de la Distorsión Armónica.	8
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>CONCEPTOS Y NORMAS BÁSICAS.</b>	
2.1 Calidad de Energía.	10
2.2 Onda Sinusoidal Pura y Distorsionada.	11
2.3 Valor Eficaz (RMS)	12
2.4 Potencia y Demanda Máxima.	15
2.4.1 Capacidad ó Potencia Nominal.	15
2.4.2 Carga ó Potencia Instalada.	15
2.4.3 Demanda.	15

<b>2.4.4 Demanda Máxima (DMax.)</b>	15
<b>2.4.5 Factor de Demanda ( Fd )</b>	15
<b>2.5 Factor de Potencia.</b>	16
<b>2.6 Armónicos.</b>	18
<b>2.7 Tensiones y Corrientes Periódicas.</b>	18
<b>2.8 Distorsión Armónica.</b>	21
<b>2.8.1 Medidas de la distorsión en voltaje y corriente.</b>	21
<b>2.8.2 Distorsión armónica total (THD)</b>	22
<b>2.8.3 Efectos de las Distorsión Armónica.</b>	22
<b>2.8.4 Clasificación de los Armónicos.</b>	23
<b>2.8.5 Condiciones de resonancia.</b>	23
<b>2.9 Perturbaciones en la red eléctrica.</b>	26
<b>2.10 Normatividad Existente</b>	28
<b>2.11 Filtros.</b>	30
<b>2.11.1 Filtros Activos.</b>	31
<b>2.11.2 Filtros Pasivos.</b>	32
<b>2.11.3 Filtros Híbridos.</b>	34
<b>2.11.4 Comparación de los filtros activos con los filtros pasivos.</b>	35

### **CAPÍTULO III**

#### **EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUSTRIAL.**

<b>3.1 Descripción y Análisis de la red eléctrica a estudiar.</b>	36
<b>3.1.1 Objetivo.</b>	36
<b>3.1.2 Normas referenciales.</b>	36
<b>3.2 Descripción de las mediciones.</b>	37
<b>3.2.1 Puntos de medición en el Sistema eléctrico.</b>	39
<b>3.2.2 Descripción y metodología de la medición.</b>	40
<b>3.3 Datos Registrados en la celda de llegada (10 kV.)</b>	41
<b>3.3.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	41
<b>3.3.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	41
<b>3.3.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	42
<b>3.3.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	49
<b>3.3.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	49
<b>3.3.6 Datos de Corriente.</b>	50

<b>3.3.7 Datos de formas de onda Distorsionada.</b>	51
<b>3.4 Datos Registrados en la Subestación N° 1</b>	52
<b>3.4.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	52
<b>3.4.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	52
<b>3.4.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	53
<b>3.4.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	55
<b>3.4.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	56
<b>3.4.6 Datos de Corriente.</b>	56
<b>3.4.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	57
<b>3.5 Datos Registrados en la Subestación N° 2 (Transformador 1)</b>	58
<b>3.5.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	58
<b>3.5.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	59
<b>3.5.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	59
<b>3.5.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	62
<b>3.5.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	63
<b>3.5.6 Datos de Corriente.</b>	63
<b>3.5.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	64
<b>3.6 Datos Registrados en la Subestación N° 2 (Transformador 2)</b>	65
<b>3.6.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	65
<b>3.6.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	65
<b>3.6.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	66
<b>3.6.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	68
<b>3.6.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	69
<b>3.6.6 Datos de Corriente.</b>	69
<b>3.6.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	70
<b>3.7 Datos Registrados en la Subestación N° 3 (Transformador 1)</b>	70
<b>3.7.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	71
<b>3.7.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	71
<b>3.7.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	72
<b>3.7.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	77
<b>3.7.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	78
<b>3.7.6 Datos de Corriente.</b>	79
<b>3.7.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	79
<b>3.8 Datos Registrados en la Subestación N° 3 (Transformador 2)</b>	80
<b>3.8.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	80
<b>3.8.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	81

<b>3.8.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	82
<b>3.8.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	88
<b>3.8.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	88
<b>3.8.6 Datos de Corriente.</b>	89
<b>3.8.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	90
<b>3.9 Datos Registrados en la Subestación N° 4</b>	91
<b>3.9.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	91
<b>3.9.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	91
<b>3.9.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	92
<b>3.9.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	98
<b>3.9.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	99
<b>3.9.6 Datos de Corriente.</b>	99
<b>3.9.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	100
<b>3.10 Datos Registrados en la Subestación N° 5 (Transformador 1)</b>	100
<b>3.10.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	101
<b>3.10.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	101
<b>3.10.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	102
<b>3.10.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	104
<b>3.10.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	105
<b>3.10.6 Datos de Corriente.</b>	105
<b>3.10.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	106
<b>3.11 Datos Registrados en la Subestación N° 5 (Transformador 2)</b>	106
<b>3.11.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)</b>	107
<b>3.11.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)</b>	107
<b>3.11.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)</b>	108
<b>3.11.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)</b>	114
<b>3.11.5 Datos de Factor de Potencia.</b>	114
<b>3.11.6 Datos de Corriente.</b>	115
<b>3.11.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.</b>	116

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>4.1 Resultados de las Mediciones.</b>	117
--	-----

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	127
---------------------------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	130
----------------------	-----



## INTRODUCCIÓN

Hace algunas décadas atrás, la principal preocupación de los consumidores de energía eléctrica era la continuidad del suministro y el consumo de la energía reactiva. Sin embargo, hoy en día, además de fiabilidad, los usuarios demandan una calidad de Energía o calidad de la Tensión suministrada.

Este término hace referencia al mantenimiento de una tensión aproximadamente sinusoidal con amplitud y frecuencia moderada.

Aparte de las perturbaciones externas, tales como cortes de suministro, bajadas o subidas de tensión debidas a fenómenos atmosféricos o por operaciones en las líneas de transporte o distribución, existen perturbaciones propias del sistema eléctrico en las instalaciones de los usuarios, debidas a las cargas no lineales conectadas en estas instalaciones.

Estas cargas, que demandan corrientes no sinusoidales de la alimentación pueden clasificarse en dos grupos [2]: cargas identificadas, como es el caso de rectificadores controlados o no controlados de gran potencia, ciclo convertidores u hornos de arco; y cargas no identificadas. En este último grupo se engloban cargas tan comunes como la iluminación fluorescente (lámparas de descarga), etc.

Las corrientes armónicas demandadas por estas cargas no lineales, debido a la impedancia de cortocircuito de la red, provocan la aparición de armónicos de tensión en el punto de conexión. El aumento de los armónicos de baja frecuencia en la red de distribución, que generalmente coinciden con los armónicos dominantes de estas cargas no lineales, ocasionan problemas para los receptores conectados al mismo punto, como calentamientos, defectos de aislamiento y fallos de operación de equipos de medida, control y protección.

Ante esta situación, surge la necesidad de diseñar dispositivos capaces de reducir estas perturbaciones lo cual es necesario la instalación de filtros. El tipo de filtro a utilizar depende de cada tipo de carga y es con la intención de mejorar la calidad de red y, por otra parte, de modificar la actual facturación de la energía eléctrica y la instrumentación de medida.

En este informe se abordan estos temas y se presenta la normativa relativa a la calidad de red.

## CAPÍTULO I

### DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA INDUSTRIAL

#### 1.1 Generalidades.

La Empresa Industrial está ubicada en el Cercado de Lima, Empresa líder en la fabricación de productos de fibrocemento, viene operando desde 1940 en la zona industrial de Lima; forma parte de un importante grupo industrial con presencia en los cinco continentes. Toda su producción se efectúa bajo normas técnicas nacionales e internacionales, certificando así un alto nivel de calidad para cada producto. Así mismo se encuentra en constante innovación para brindar siempre nuevas soluciones y opciones creativas para la industria de la construcción.

#### 1.2 Proceso Productivo.

##### 1.2.1 Organigrama de la Empresa Industrial.

A continuación se muestra el organigrama de la Empresa.

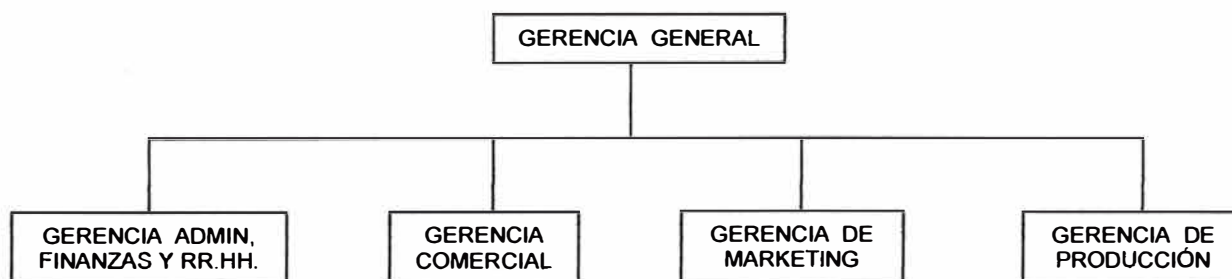


Fig 1.1 Organigrama de la Empresa Industrial

##### 1.2.2 Materia Prima.

En el caso de los productos de fibro - cemento: productos ondulados y planos, las principales materias primas son:

- cemento,
- fibras sintéticas,
- celulosa,
- agua,
- sílice,
- bentonita,
- caolín,

- hidróxido de aluminio,
- carbonato de calcio y otros.

### **1.2.3 Procesamiento del producto.**

Los procesos involucran tres etapas:

\* **Preparación de Materias Primas.**- El principio de la fabricación de los productos de fibro – cemento es conjugar las ventajas de materiales con un alto módulo de fuerza y a su vez obtener productos con un módulo de elasticidad alto. En general todas las materias primas son adquiridas listas para su uso, pero, hay algunas materias primas que por razones de costos deben de ser tratadas en la Planta.

\* **Fabricación.**- Se aplica el principio Hatschek que consiste en filtrar agua de una pasta muy diluida. El Austriaco, Ludwig Hatschek registró su patente en el año 1900. Hay dos operaciones importantes en esta etapa, la eliminación del exceso de agua de la pasta y el dimensionamiento de los productos en lo relacionado al espesor y a la longitud.

\* **Terminación.**- Corresponde a la etapa del acabado de los productos, las pastas con el espesor y longitud requerida son onduladas para el caso de los productos ondulados y se mantienen planas para el caso de productos planos y luego pasan por un proceso de curado.

### **1.2.4 Procesamiento y control de proceso.**

El proceso de producción es totalmente automático, la preparación de las materias primas se controlan y se supervisan con un sistema SCADA, la etapa de fabricación se efectúa en máquinas con control automático (control de dosificación de las materias primas, control de espesores del producto, control de velocidad de máquina ) con controlador lógico programable (PLC) y registro de los datos del proceso, la etapa de terminación del producto se efectúa en máquinas diseñadas para la industria del fibro – cemento y que son accionadas con sistemas mecánicos y electrónicos. En las tres etapas del proceso se tienen en gran cantidad, equipos que son accionados por variadores de frecuencia.

### **1.2.5 Control de Calidad**

El Control de Calidad está sujeto a las Normas Técnicas Peruanas, la NTP – ISO 9933 (Productos de cemento con refuerzo) y la NTP – ISO 8336 ( Planchas planas de fibro – cemento ), todas las pruebas de calidad se realizan en el laboratorio de control de la calidad de la Planta y también la Empresa otorga certificados de calidad de los productos a los clientes que los requieren.

Y aseguran un mejor servicio y confiabilidad en la elaboración de sus productos que están reconocidos a nivel nacional e internacional.

### 1.3 Sistema Eléctrico de la Empresa.

#### 1.3.1 Potencia Instalada en la Empresa.

**Tabla 1.1** Potencia de los equipos instalados en la Empresa Industrial [ 12 ]

<b>SUBESTACIÓN N° 1</b>		
Un Transformador 400 kVA - 240 V		
Potencia Instalada:	250 kW	
Potencia de Trabajo:	100 kW	
<b>SUBESTACIÓN N° 2</b>		
Dos Transformadores de 800 kVA c/u = 1600 kVA - 240V		
	Potencia Instalada	Potencia de Trabajo
Plancha 2 ( k )	731 kW	745 kW
Celulosa ( l )	272 kW	177 kW
Tanques ( n )	115 kW	75 kW
Plancha 5 ( m )	760 kW	494 kW
<b>TOTAL</b>	<b>1878 kW</b>	<b>1491kW</b>
<b>SUBESTACIÓN N° 3</b>		
Un Transformador 2000 kVA - 460V		
	Potencia Instalada	Potencia de Trabajo
Plancha 6 ( f )	1300 kW	845 kW
Sílice ( g )	333 kW	216 kW
Compresora ( h )	180 kW	117 kW
<b>TOTAL</b>	<b>1813 kW</b>	<b>1178 kW</b>
Un transformador de 600 kVA - 240V		
	Potencia Instalada	Potencia de Trabajo
Compresores (240V) ( a )	225 kW	150 kW
Sílice ( b )	150 kW	45 kW
Laboratorio ( c )	60 kW	40 kW
Bomba contra incendio ( d )	55 kW	
Autoclaves 5 y 6 ( e )	50 kW	32 kW
<b>TOTAL</b>	<b>540 kW</b>	<b>267 kW</b>
<b>SUBESTACIÓN N° 4</b>		
Un transformador 400 kVA - 240V		
	Potencia Instalada	Potencia de Trabajo
Caldero ( u )	46 kW	25 kW
Biseladora-Lijadora ( v )	70 kW	20 kW
Ciclón ( w )	75 kW	75 kW
<b>TOTAL</b>	<b>191 kW</b>	<b>120 kW</b>
<b>SUBESTACIÓN N° 5</b>		
Dos Transformadores 640 kVA c/u = 1280 kVA - 460V		

	Potencia Instalada	Potencia de Trabajo
Door Oliver ( p )	76 kW	50 kW
Celulosa ( q )	730 kW	474,5 kW
Silos de Cemento ( r )	120 kW	78 kW
TOTAL	926 kW	602,5 kW

**1.3.2 Diagrama eléctrico de la Empresa.** (Tal como se muestra en la página siguiente)

### 1.3.3 Transformadores de Distribución.

Indicamos las características de los transformadores:

#### a) Transformador 600 kVA

Potencia nominal (kVA)	: 600
Número de fases	: 3
Frecuencia (Hz)	: 60
Grupo de conexión	: Dyn5
Tensión del Primario (V)	: 10 000
Tensión del Secundario ( V )	: 220 V
Número de terminales en el primario	: 3
Número de terminales en el secundario	: 6
Regulación en vacío	: $\pm 2.5 \% , \pm 5 \%$
Altura de montaje	: 1 000 msnm
Enfriamiento natural	: ONAN

#### b) Transformador 2000 kVA

Potencia nominal (kVA)	: 2 000
Número de fases	: 3
Frecuencia (Hz)	: 60
Grupo de conexión	: DYn5
Tensión del Primario (V)	: 10 000
Tensión del Secundario ( V )	: 460 V
Número de terminales en el primario	: 3
Número de terminales en el secundario	: 4
Regulación en vacío	: $\pm 2.5 \% , \pm 5 \%$
Temperatura del ambiente	: 40 C.
Altura de montaje	: 1 000 msnm
Enfriamiento natural	: ONAN

#### c) Transformador 400 kVA

Potencia nominal (kVA)	: 400
Número de fases	: 3

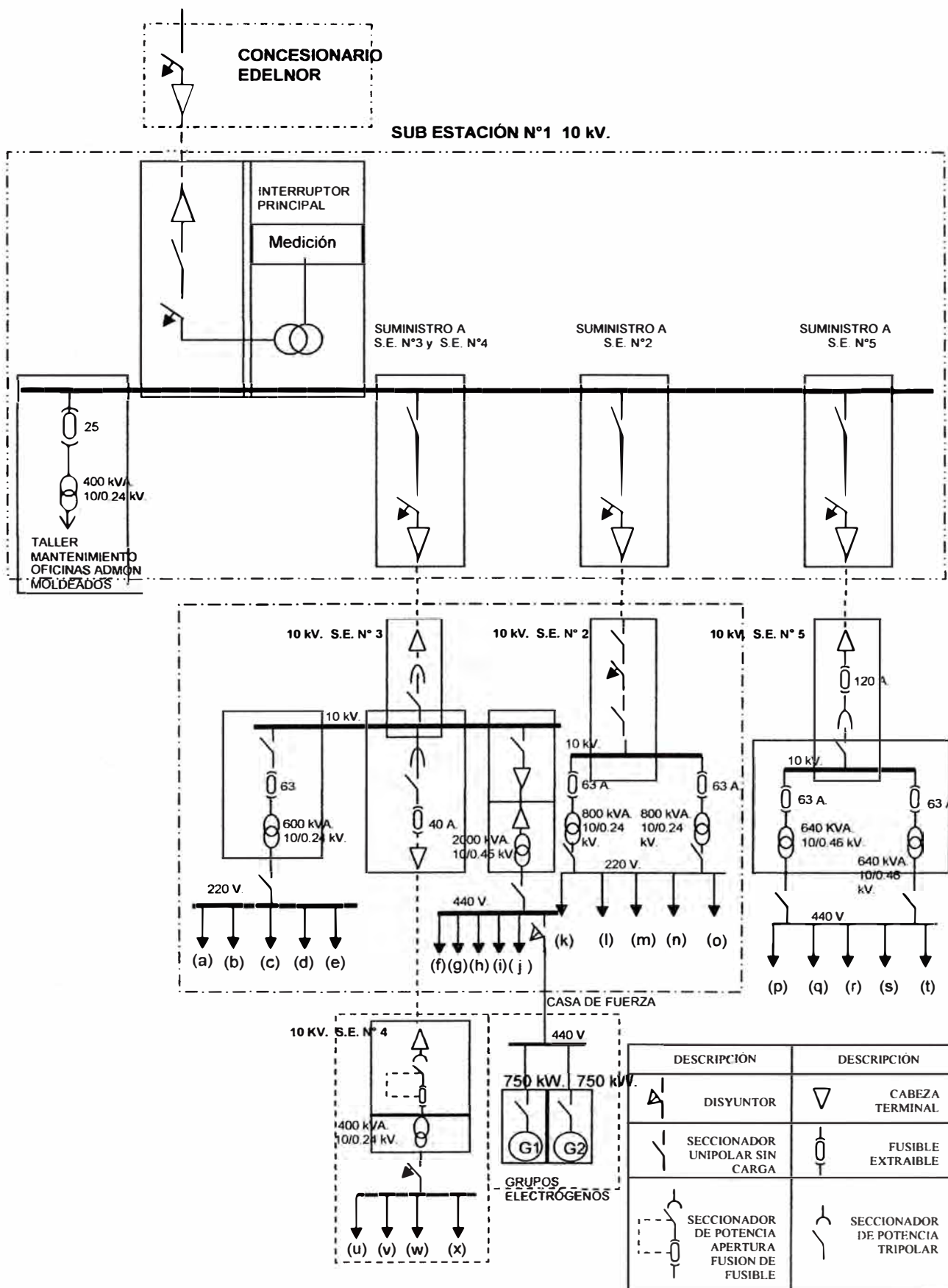


Fig 1.2 Diagrama eléctrico de la Empresa Industrial

Grupo de conexión	: DYN5
Tensión del Primario ( V )	: 10 000
Tensión del Secundario ( V )	: 240 V
Número de terminales en el primario	: 3
Número de terminales en el secundario	: 4
Regulación en vacío	: $\pm 2.5 \%$ , $\pm 5 \%$
Temperatura del ambiente	: 40 C.
Altura de montaje	: 1 000 msnm
Enfriamiento natural	: ONAN

#### **d) Transformador 800 kVA**

Sus características técnicas son:

Potencia nominal (kVA)	: 800
Número de fases	: 3
Frecuencia (Hz)	: 60
Grupo de conexión	: Yd11
Tensión del Primario ( V )	: 10 000
Tensión del Secundario ( V )	: 240 V
Número de terminales en el primario	: 3
Regulación en vacío	: $\pm 2.5 \%$ , $\pm 5 \%$
Temperatura del ambiente	: 40 C.
Altura de montaje	: 1000 msnm
Enfriamiento natural	: ONAN

#### **e) Transformador 640 kVA**

Sus características técnicas son:

Potencia nominal (kVA)	: 640
Número de fases	: 3
Frecuencia (Hz)	: 60
Grupo de conexión	: DYN5
Tensión del Primario ( V )	: 10 000
Tensión del Secundario ( V )	: 460 V
Número de terminales en el primario	: 3
Número de terminales en el secundario	: 4
Regulación en vacío	: $\pm 2.5 \%$ , $\pm 5 \%$
Temperatura del ambiente	: 40 C.
Altura de montaje	: 1 000 msnm
Enfriamiento natural	: ONAN

### 1.3.4 Sistema de Compensación Reactiva.

La Empresa Industrial cuenta con un sistema de bancos de condensadores distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 1.2** Relación de bancos de condensadores [ 12 ]

<b>Compensación Reactiva</b>			
<b>Sub Estación</b>	<b>Potencia Reactiva Instalada</b>	<b>Marca</b>	<b>Tensión de Operación</b>
Sub Estación N° 2	600 kVAR	Enerlux	240 V
Sub Estación N° 3	600 kVA	Schneider Varologic NR12	460 V
Sub Estación N° 4	875 kVAR	AGUT	220 V
Sub Estación N° 5	400 kVAR	Enerlux	460 V

### 1.3.5 Máxima demanda en la Empresa.

La máxima demanda registrada es de:

Suministro en media tensión : 10kV,60Hz,3Ø

Máxima demanda kW : 2690 kW.

### 1.3.6 Potencia contratada.

Suministro N° : 246936

Concesionario : Edelnor

Sistema : 10kV, 3Ø, 60 Hz

Potencia contratada : 4 150 kW

Cables alimentadores : 3-1x120 mm<sup>2</sup> N2XSY

### 1.3.7 Fuentes de Distorsión Armónica

Las cargas de naturaleza no lineal que generalmente provocan estos efectos en la Empresa Industrial son:

- Dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia del tipo conmutada.
- Arrancadores de estado sólido.
- Variadores de velocidad.
- Sistema de alimentación interrumpida ó compensada (UPS) ,
- Rectificadores de estado sólido.
- Alumbrado con balastos electrónicos.
- Impresoras multifunción ( fotocopiadoras y maquinas de fax) y
- Computadoras.

### 1.3.8 Efectos de la Distorsión Armónica.

Debido a estos equipos electrónicos, se han presentados perturbaciones en las redes eléctricas de la Empresa Industrial, que han generado variaciones de voltaje,



afectando la operación de los equipos: sistemas de control de automatización, ordenadores, sistemas de información; las consecuencias se reflejan en la disminución de la vida útil de los equipos en mención adicionalmente a las pérdidas por los problemas en las operaciones.

Y esto es debido al armónico más preponderante que se está generando en la Empresa Industrial que es del 5° orden y que son de características de cargas no lineales.

## CAPÍTULO II

### CONCEPTOS Y NORMAS BÁSICAS.

#### 2.1 Calidad de Energía.

El término "**Calidad de Energía Eléctrica**" se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico.

Es un conjunto de límites eléctricos que permiten que un equipo funcione correctamente sin pérdida significativa de desempeño o expectativa de vida.

El término Calidad de Energía tiene diferentes significados de acuerdo a la responsabilidad de quien lo vea, por ejemplo para la empresa suministradora significa suministrar energía en forma constante y sin problemas, para los usuarios significa utilizar la energía recibida de una forma eficiente es decir sin desperdiciarla.

Parámetros que incluyen el concepto de Calidad:

- Confiabilidad del servicio
- Desviaciones de la frecuencia
- Desviaciones y fluctuaciones de la tensión:
  - Desviaciones de la tensión nominal o de trabajo
  - Fluctuaciones rápidas de la tensión (flicker)
  - Modulaciones en la onda de tensión
  - Sobretensiones
- Distorsión de la onda de tensión y corriente:
  - Contenido de armónicos superiores en las ondas de tensión y corriente.
- Asimetría de las tensiones trifásicas.

Es importante conocer, antes de estudiar la importancia de estas perturbaciones presentes en las redes eléctricas, que los armónicos son los subproductos de la electrónica moderna, y se manifiestan especialmente donde hay un gran número de computadores, impresoras, motores de velocidad regulable, equipos médicos, ascensores y otros equipos que absorben corriente en forma de impulsos cortos. Estos equipos están diseñados para absorber corriente durante sólo una fracción controlada de la onda de tensión de alimentación.

Esto provoca armónicos en la corriente de carga y, por ende, la distorsión de dicha onda de tensión, además el sobrecalentamiento de transformadores y conductores neutros y, en ocasiones, el disparo de interruptores automáticos.

## 2.2 Onda Sinusoidal Pura y Distorsionada

Cualquier onda periódica puede ser representada por una onda sinusoidal a una frecuencia fundamental más otras señales sinusoidales de amplitudes generalmente menor y de frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. En la siguiente figura se muestra una onda sinusoidal pura con frecuencia fundamental igual a 60 Hz (frecuencia industrial).

Dichas señales de tensión y corriente  $v(t)$  é  $i(t)$  se pueden expresar en las siguiente función matemática de onda sinusoidal

$$v(t) = V_M \text{sen} ( \omega t + \beta ) \quad (2.1)$$

Donde :

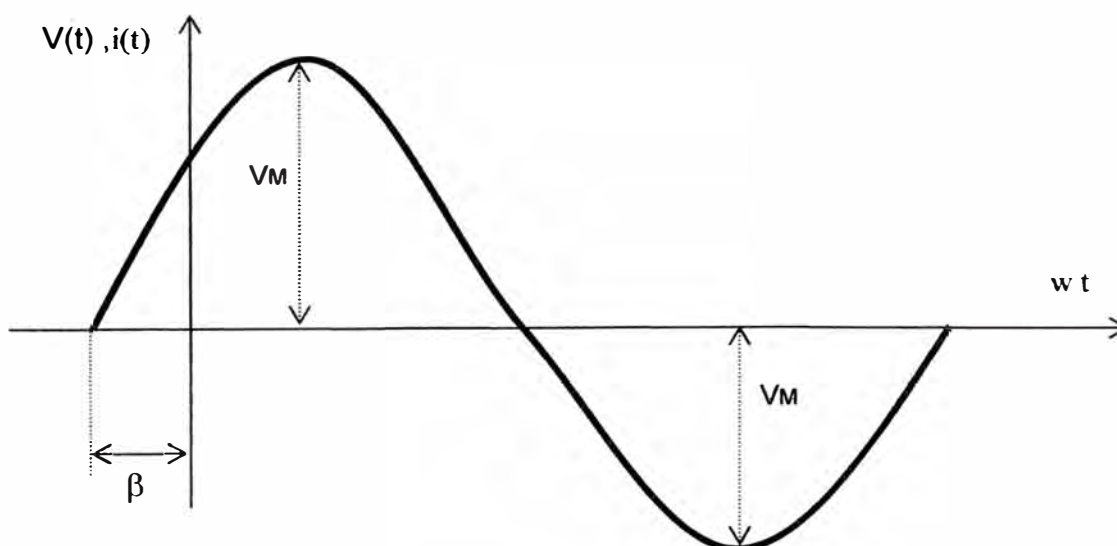
$v(t)$  : Valor instantáneo del voltaje en el tiempo  $t$ .

$V_M$  : Valor máximo de tensión ó valor pico de tensión.

$\omega$  : Frecuencia angular rad/seg. =  $2\pi f$

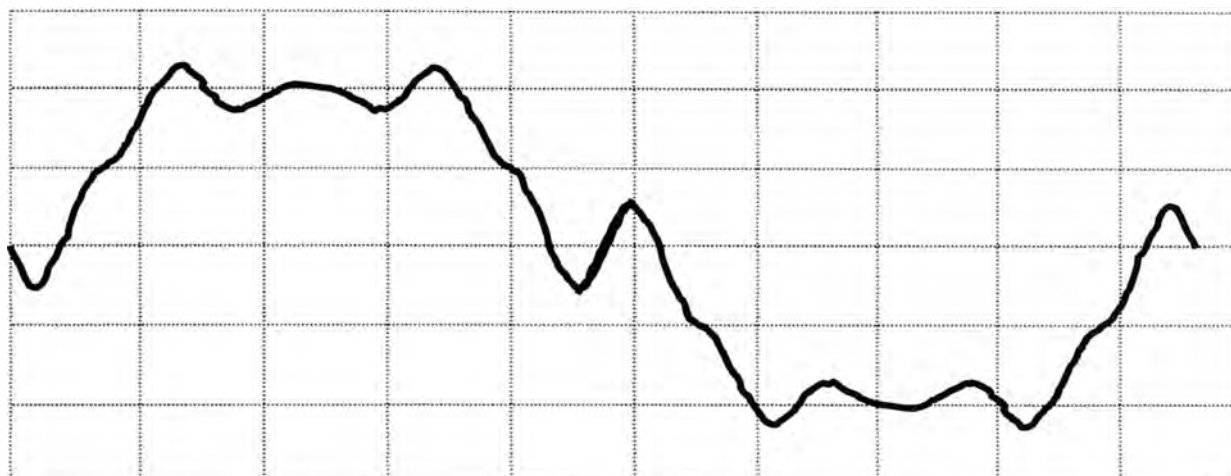
$f$  : Frecuencia de la red eléctrica

$\beta$  : Ángulo de desfase.

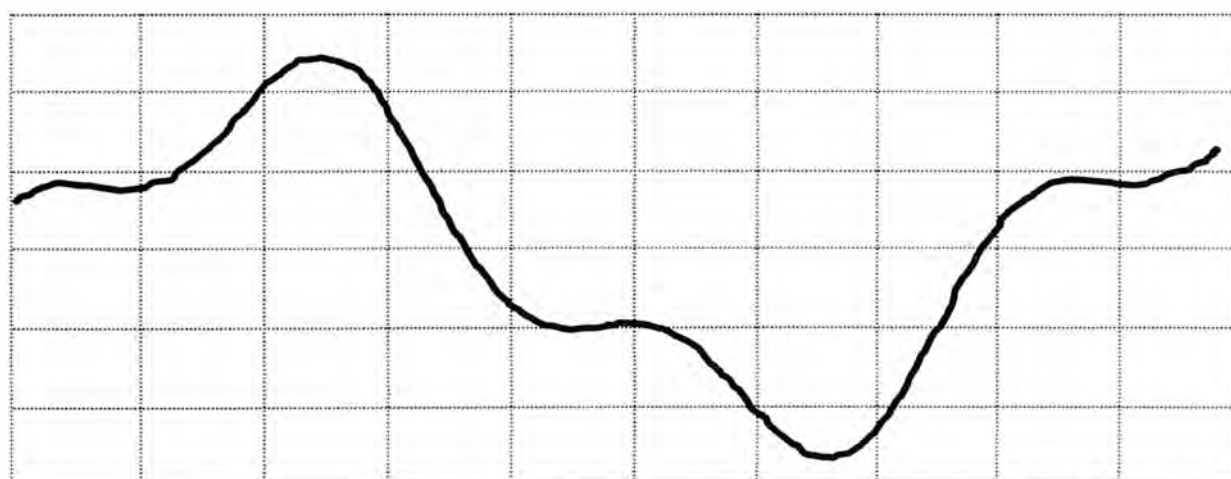


**Fig. 2.1** Onda sinusoidal pura

Si la onda está distorsionada se dice que tiene un contenido de armónicos, en las siguientes figuras se muestran formas de ondas muy comunes la primera con un contenido de tercer armónico y la siguiente con contenido de: quinto, séptimo, décimo primer y décimo tercer armónico.



**Fig. 2.2** Onda fundamental con 3° armónico

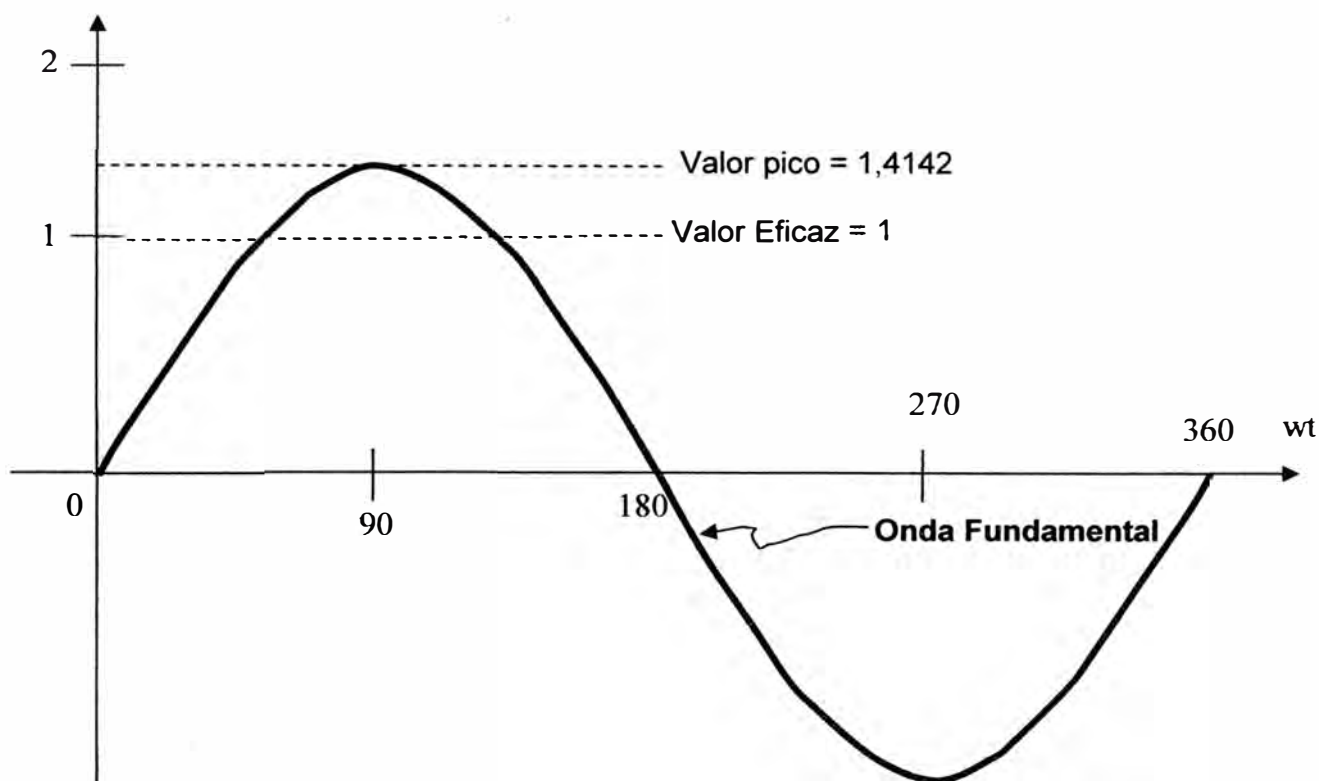


**Fig. 2.3** Onda fundamental con 5°, 7°, 11°, y 13° armónico

### 2.3 Valor Eficaz (RMS)

Es la magnitud de la media cuadrática, en inglés Root Mean Square (RMS), también denominado valor eficaz, de una corriente alterna, es el valor de la corriente continua equivalente que produciría la misma cantidad de calor en una carga resistiva determinada. La cantidad de calor producida en una resistencia por una corriente alterna es proporcional a la media del cuadrado de la corriente a lo largo de un ciclo completo de la forma de onda.

En una onda sinusoidal perfecta, como la Fig. 2.4, el valor de la RMS (eficaz) es 0,707 veces el valor pico (o el valor de pico es  $\sqrt{2}$  ó 1,4142 veces el valor de RMS). Dicho de otro modo el valor pico de una corriente de onda sinusoidal pura de 1 amperio RMS será de 1,4142 amperios.



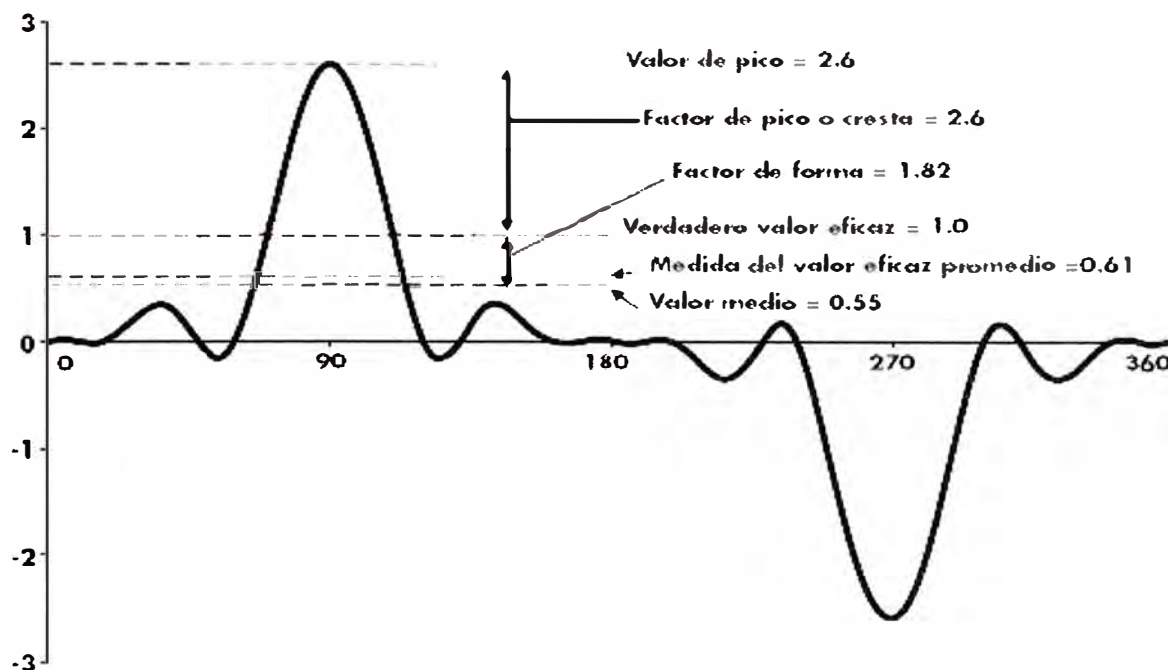
**Fig. 2.4** Forma de onda de corriente sinusoidal pura.

Pero en muchas instalaciones comerciales e industriales ocurren disparos intempestivos de sus interruptores o disyuntores de sus circuitos de protección contra sobre intensidades, pero hay una razón para que se produzcan y normalmente se deben a dos causas; una de ellas es causa probable que la medida del valor de la corriente que circula por el circuito se haya sobrecargado, en otras palabras, que la corriente real sea mayor que la esperada.

La respuesta es que muchos instrumentos no son adecuados para medir corrientes distorsionadas y en la actualidad la mayoría de las corrientes están distorsionadas.

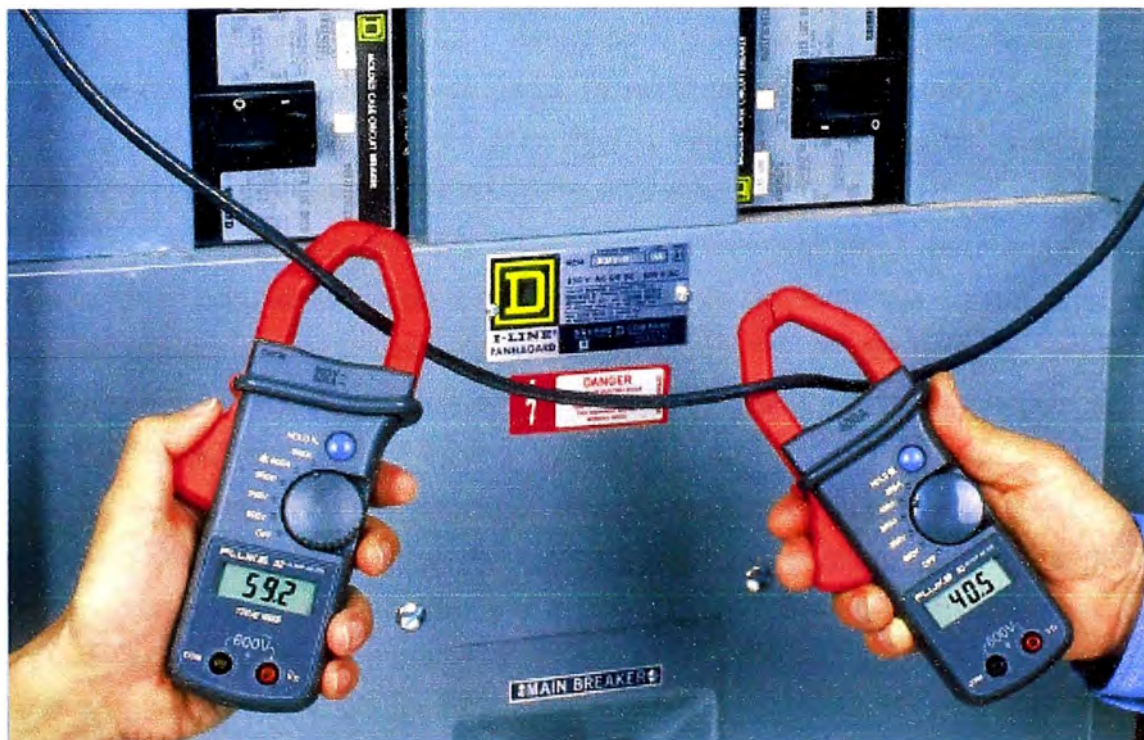
Esta distorsión se debe a la presencia de corrientes armónicas generadas por cargas no lineales, especialmente por equipos electrónicos tales como: PC's, variadores de velocidad, rectificadores, sistemas de UPS, etc.

La Fig. 2.5 muestra una típica forma de una onda de corriente generada por un ordenador personal. Evidentemente, no se trata de una onda sinusoidal y todas las herramientas y técnicas de cálculo que normalmente se utilizan para medir ondas sinusoidales ya no sirven. Esto significa utilizar herramientas correctas, cuando se trata de medir gran número de cargas no lineales, que puedan medir corrientes y tensiones no sinusoidales.



**Fig. 2.5** Forma de onda de corriente generada por un ordenador personal.

La forma de onda que se muestra en la Fig. 2.5 es la típica correspondiente a la forma de corriente generada por un ordenador personal. El valor RMS verdadero sigue siendo de 1 amperio, pero el valor pico es mucho más elevado, ya que llega a 2,6 Amperios, y el valor medio es muy inferior, de 0,55 amperios.



**Fig. 2.6** En la figura se muestra 2 lecturas diferentes: el instrumento de la izquierda da una lectura correcta que mide su verdadero valor eficaz RMS hasta ondas armónicas, pero el instrumento de la derecha mide RMS del valor promedio, solo de la onda fundamental y da una lectura de un 32% más baja.

## **2.4 Potencia y Demanda Máxima**

### **2.4.1 Capacidad ó Potencia Nominal**

Es la potencia nominal que un equipo o sistema eléctrico tiene para entregar. En los datos de placa de los diferentes aparatos del sistema se lee la capacidad como por ejemplo: un generador de 70 MVA, un transformador de 250 kVA.

### **2.4.2 Carga ó Potencia Instalada**

Es la sumatoria de las potencias nominales de todos los aparatos y equipos que se encuentran conectados a un sistema eléctrico, sea que estén en operación ó no ó que potencialmente puedan conectarse al sistema. Se expresa en kVA, kW. Esta carga conectada puede referirse a todo un sistema ó parte de él.

### **2.4.3 Demanda**

Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza de la red o del sistema en un intervalo de tiempo dado, llamado intervalo de demanda.

La demanda de un sistema o instalación también puede definirse como la carga medida en los terminales del receptor en un intervalo definido de tiempo.

La demanda puede darse tanto en kVA, kW , kVAR, A ó porcentajes de la demanda máxima ( por unidad).

### **2.4.4 Demanda Máxima (DMax.)**

Es la máxima condición de carga que se presenta en un sistema o instalación durante un tiempo específico. La demanda máxima es expresada en unidades apropiadas dependiendo del tipo de carga, tales como: kVA, kW, kVAR y A.

La demanda máxima es de gran interés ya que representa las condiciones más severas de operación impuestas a un sistema desde el punto térmico y de caídas de tensión. Puede ser tomada como la demanda máxima instantánea, pero en la práctica se define también para la demanda máxima un intervalo de demanda. La mayoría de estos intervalos usados en medidores de demanda son 5, 15, 30, 60 minutos, sin embargo, también se puede definir cual es la demanda máxima diaria, semanal, mensual ó anual.

### **2.4.5 Factor de Demanda ( Fd )**

Es la relacion entre la demanda maxima de un sistema o parte de él y la carga total instalada o conectada al sistema o parte de él. El Fd siempre es menor o igual a 1ya que la demanda máxima es menor o a lo sumo igual a la carga conectada del sistema. Este valor es importante, nos indica el porcentaje de variación con respecto a la carga.

Este factor indica la simultaneidad en el uso de la carga total conectada. Es decir los aparatos eléctricos de una instalación, normalmente no seran accionados al mismo tiempo a plena carga, en cuyo caso el factor de demanda es menor que la unidad a excepción de algunos casos por ejemplo de la red de alumbrado público cuyo factor de

$$F_d = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}} \quad (2.2)$$

demanda es 1, ya que todas las cargas están conectadas simultáneamente en condiciones normales. En resumen este factor indica como se está usando la carga conectada al sistema eléctrico.

El factor de demanda resulta ser adimensional, dado que la carga conectada y la demanda máxima deben estar expresados en las mismas unidades.

Para ser específicos, un registro del factor de demanda debería indicar el intervalo de demanda y el periodo sobre el cual la demanda máxima es aplicada.

Aunque puede ser aplicado a un gran sistema, este factor es usualmente aplicable a usuarios tipo industrial, comercial, residencial, etc.

## 2.5 Factor de Potencia.

En general, cuando se define la potencia aparente nominal de cualquier dispositivo eléctrico, se está considerando su valor en régimen sinusoidal, por lo que es preciso conocer las condiciones concretas de funcionamiento, en régimen no-sinusoidal, para determinar su potencia aparente real.

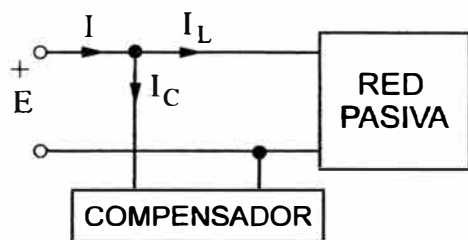
El factor de potencia,  $FP$ , es una medida de la eficiencia energética, se define de la relación entre la potencia transformada en otra forma de energía  $P$ , y la aparente  $S$ :

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2.3)$$

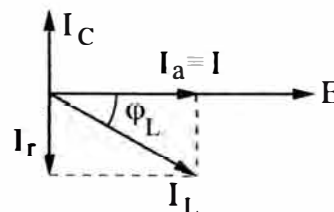
En los estudios básicos de circuitos monofásicos lineales, en régimen sinusoidal, se indican los inconvenientes de un reducido valor del factor de potencia que, frecuentemente, se designa por  $\cos \varphi$ , y se calcula su optimización por la conexión del condensador óptimo, que da lugar a un factor de potencia unidad. La figura 2.7 muestra, esquemáticamente, la optimización del factor de potencia, en régimen sinusoidal con carga lineal. La corriente de suministro  $I_L$ , puede descomponerse en dos componentes:  $I_a$  e  $I_r$ , activa y reactiva, respectivamente; la primera, en fase con la tensión aplicada, da lugar a la potencia activa, que origina la correspondiente transformación energética, mientras que la segunda -en cuadratura con la tensión, frecuentemente, en retraso- produce la potencia reactiva, cuyo valor medio es nulo.  $I_C$  es la corriente consumida por la batería de condensadores; si  $I_C = I_r$ , el factor de potencia es la unidad. La corriente reactiva demandada por la carga es necesaria para el establecimiento de los campos electromagnéticos de sus elementos reactivos, de tal



manera, que si se le suministra el compensador, no se precisa corriente procedente de la alimentación y no demanda potencia reactiva de la fuente.



(2.7 a)



(2.7 b)

**Fig. 2.7** Compensación de la energía reactiva. (a) Red elemental.

(b) Diagrama fasorial para el factor de potencia unidad.

El factor de potencia  $FP$  es un parámetro de rendimiento de una red, porque relaciona la potencia utilizable  $P$ , con la que es necesario aportar  $S$ ; por tanto, cuanto menor es el factor de potencia, mayor es la pérdida de potencia en la línea de transporte, para una potencia activa demandada. Consecuentemente, cuando en una red eléctrica se conectan cargas no lineales los conceptos anteriores se tienen que modificar para contemplar la existencia de corrientes con armónicas. Entre otras se puede mencionar las siguientes cargas no lineales como: convertidores electrónicos, hornos de arco, circuitos magnéticos de máquinas y transformadores lo cual estos receptores que presentan un bajo factor de potencia y una alta distorsión armónica, dan lugar a unas mayores pérdidas en la línea, así como a un sobredimensionamiento de los sistemas de generación y transporte. A continuación, se estudian el factor de potencia originadas por receptores no lineales; en una aproximación realista, se supone que la tensión de alimentación es sinusoidal, es decir,  $V = V_1$ , por tanto:

$$S \equiv V_1 I \quad (2.4)$$

La distorsión de la corriente  $THDi$  es  $I_h / I_1$ , siendo  $I_h$  el valor eficaz de la intensidad armónica e  $I_1$  el de la componente fundamental de la intensidad de corriente, luego la podemos expresar de la siguiente manera:

$$I = I_1 \sqrt{1 + THDi^2} \quad (2.5)$$

siendo  $I$  el valor eficaz de la corriente. Además:

$$P_1 = S_1 FP_1 \quad (2.6)$$

siendo  $S_1$ ,  $P_1$ ,  $FP_1$ , las potencias aparente, activa y el factor de potencia de la componente fundamental, respectivamente;  $FP_1$ , también, se designa como factor de desplazamiento. La potencia aparente  $S$ , puede expresarse:

$$S = S_1 \sqrt{1 + THDi^2} \quad (2.7)$$

El factor de potencia  $FP$ , será:

$$FP = \frac{P_1}{S} = \frac{FP_1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \quad (2.8)$$

## 2.6 Armónicos.

Los armónicos son corrientes y tensiones cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la alimentación. Por ejemplo si la frecuencia fundamental es de 60 Hz, la segunda armónica será de 120 Hz, la tercera de 180 Hz, etc.

En el caso de sistemas alimentados por la red eléctrica de 60 Hz, pueden aparecer armónicos de 120Hz, 180Hz, 240Hz, etc.....

Las armónicas son originadas por cargas no lineales que absorben corriente en impulsos bruscos, a diferencia de hacerlo suavemente en forma sinusoidal, como lo haría una carga resistiva pura. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes de armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de distribución eléctrica.(5)

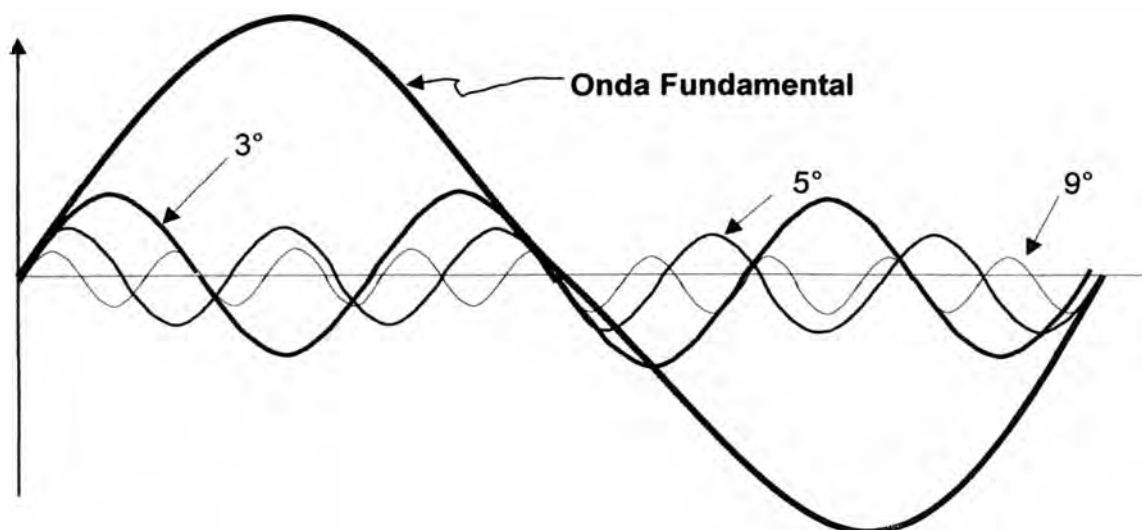


Fig. 2.8 Gráfica de una onda fundamental y el 3°, 5° y 9° armónico.

## 2.7 Tensiones y Corrientes Periódicas.

Cuando una tensión sinusoidal es aplicada a un circuito lineal, las corrientes que fluyen en el sistema y caídas de tensión también son sinusoidales.

Durante los últimos 20 años ha crecido la preocupación debido al hecho de que la forma de onda de corrientes y tensiones en alimentadores y barras se ha distorsionado por la aparición de corrientes armónicas en los sistemas eléctricos de potencia, debido principalmente a la introducción masiva de la electrónica de potencia en las redes industriales, así como a la operación, cada vez más extendida, de grandes hornos de arco usados para fundición de acero, grandes instalaciones de computadoras y equipo electrónico de control.

En sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

El orden el armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico  $f_n$  y la frecuencia del fundamental (60 Hz).

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (2.9)$$

(Por principio, la fundamental  $f_1$  tiene rango 1).

Cuando se habla de los armónicos en las instalaciones de energía, son los armónicos de corriente los más preocupantes, puesto que son corrientes que generan efectos negativos. Es frecuente trabajar únicamente con valores correspondientes a la distorsión armónica total (THD).

La distorsión armónica de las formas de onda de corriente y tensión se pueden analizar por medio del análisis de la serie de Fourier.

Fourier descubrió que cualquier función periódica se puede descomponer en un número de oscilaciones sinusoidales de diferentes amplitudes, frecuencias y fases.

Cualquier fenómeno periódico puede ser representado por una serie de Fourier:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \delta_n)$$

(2.10)

Donde:

$Y_0$  = Es la componente de corriente directa, la cual es generalmente cero en sistemas eléctricos de distribución [1].

$Y_n$  = Valor rms de la componente ( $n^{\text{th}}$ ) armónica.

$\varphi_n$  = Ángulo de fase de la componente ( $n^{\text{th}}$ ) armónica cuando  $t = 0$ .

Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables [1].

La cantidad de armónicos es generalmente expresada en términos de su valor *rms* dado que el efecto calorífico depende de este valor de la onda distorsionada.

Para una onda sinusoidal el valor eficaz es el máximo valor dividido por raíz de 2 para una onda distorsionada, bajo condiciones de estado estable, la energía disipada por el efecto Joule es la suma de las energías disipadas por cada una de las componentes armónicas:

$$R.I^2.t = R.I_1^2.t + R.I_2^2.t + R.I_3^2.t + \dots + R.I_n^2.t \quad (2.11)$$

Donde:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2 \quad (2.12)$$

o también:

$$I = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2} \quad (2.13)$$

(Suponiendo que la resistencia se tome como una constante)

Este cálculo permite intuir uno de los principales efectos de los armónicos que es el aumento de la intensidad eficaz que atraviesa una instalación debido a las componentes armónicas que lleva asociada una onda distorsionada. (1)

El porcentaje de armónico y la distorsión total armónica cuantifican el nivel de perturbancia armónica que puede existir en una red de suministro eléctrico.

La tasa de armónicos o porcentaje de armónicos, expresa la magnitud de cada armónico con respecto a la fundamental.

La distorsión total armónica (THD), cuantifica el efecto térmico de todos los armónicos. La CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos) propone la siguiente expresión para el cálculo de esta magnitud:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{Y_1} \quad (2.14)$$

$Y_n$  : Magnitud de la armónica n

$Y_1$  : Magnitud de la onda de frecuencia fundamental.

Tipos de equipos que generan armónicos:

- Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado.
- Estabilizadores electrónicos de dispositivos de iluminación fluorescente
- Pequeñas unidades de Sistemas de Alimentación Interrumpida ( UPS)

- En cargas trifásicas : motores de velocidad variable y grandes unidades de UPS
- Inversores y convertidores estáticos (Back to Back)

Problemas producidos por los armónicos:

- Sobrecarga de los conductores neutros
- Sobrecalentamiento de los transformadores
- Disparos intempestivos de los interruptores automáticos
- Sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia
- Funcionamiento irregular en los motores incrementándose las pérdidas ( histéresis y corrientes parásitas)
- Lecturas erróneas de los contadores de energía calibrados para potencia sinusoidal pura.
- Los armónicos se amplían si se dan en condiciones de resonancia, esto se debe a la sobre tensión (por los condensadores) que producen cierta frecuencia de resonancia.

Métodos para reducir los armónicos:

- Filtros pasivos.
- Filtros activos.
- Transformadores de aislamiento.

## 2.8 Distorsión Armónica.

Cuando la tensión o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda sinusoidal, se dice que la señal está distorsionada.

La distorsión puede deberse a:

- **Fenómenos transitorios:** tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, o fallas por cortocircuito entre otras.
- **Condiciones permanentes:** que están relacionadas con armónicas de estado estable.

En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema.

### 2.8.1 Medidas de la distorsión en tensión y corriente

Para cuantificar la distorsión existente en una señal, es preciso definir parámetros que determinen su magnitud y contar con equipos de medición adecuados. A continuación se presentan las expresiones necesarias para efectuar los cálculos relacionados con la distorsión armónica.

Valor eficaz (rms) : cuando se suman señales de tensión o corriente de diferentes frecuencias para obtener su resultante.

A continuación se dan las ecuaciones de tensión y corriente eficaz:

$$\text{Corriente eficaz (rms)} \quad I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty} I_h^2} \quad (2.15)$$

$$\text{Tensión eficaz (rms)} \quad V_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty} V_h^2} \quad (2.16)$$

### 2.8.2 Distorsión armónica total (THD)

Es la relación entre el contenido armónico de la señal y la primera armónica o fundamental.

Es el parámetro de medición de distorsión más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales (I y V). Cuando se trabaja con equipos que deben responder sólo a la señal fundamental, como en el caso de algunos relevadores de protección.

$$\text{THD: Distorsión armónica total} \quad \text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad (2.17)$$

donde:

$I_h$  = Magnitud de la armónica individual.

$h$  = Orden armónico.

$I_L$  = Magnitud de la corriente fundamental de carga.

### 2.8.3 Efectos de las Distorsión Armónica.

La distorsión armónica se puede dividir en dos aspectos: la distorsión de tensión y la de corriente.

Los sistemas electrónicos de control, los capacitores y los motores pueden ser perjudicialmente afectados por niveles de distorsión de tensión significativo. Los controles eléctricos son potencialmente las partes más sensibles, ya que muchos controles se basan en una forma de onda sinusoidal limpia para sincronización o propósitos de control. Los bancos de capacitores son afectados por los picos de la forma de onda. La aislación puede ser degradada si la distorsión armónica es excesiva. Los motores y transformadores sufren mayor calentamiento en presencia de armónicas. En general la distorsión armónica de tensión debería ser limitada al 5%.

Las corrientes armónicas son una preocupación en la interferencia de comunicaciones. También causan aumento de pérdidas en líneas y transformadores y pueden causar respuestas incorrectas de relés.(3)

Los efectos de interferencia de las armónicas en los sistemas de energía y en las cargas conectadas, son generalmente apreciadas por los usuarios solo después de la ocurrencia de una salida de servicio y un costoso trabajo de reparación.

En general se observan los siguientes efectos debido a la presencia de armónicas en los sistemas de energía.

- Disparo de interruptores y fusibles
- Sobrecarga de transformadores
- Sobrecarga de capacitores
- Pérdidas en equipos de distribución
- Excesiva corriente por el conductor neutro
- Mal funcionamiento de controles electrónicos y computadoras
- Errores de medición en sistemas de medición.

#### **2.8.4 Clasificación de los Armónicos.**

Cada armónica tiene un nombre, frecuencia y secuencia. La secuencia se refiere al giro del fasor con respecto a la fundamental (f), por ejemplo, en un motor de inducción, la armónica de secuencia positiva generaría un campo magnético que gira en la misma dirección que la fundamental. Una armónica de secuencia negativa giraría en forma contraria.

Dependiendo de su secuencia y rotación, las armónicas presentan diferentes efectos:

- SECUENCIA (+): Rotación Directa, puede producir calentamiento de conductores, rotura de circuitos, etc.
- SECUENCIA (-): Rotación Inversa, produce un freno en el motor, además calentamiento de conductores y por ende problemas en el motor.
- SECUENCIA (0): No tiene sentido de rotación, pero puede causar calentamiento. La secuencia de armónicas cero (múltiplos de la 3a) son llamados "Triplens".

#### **2.8.5 Condiciones de resonancia.**

En un sistema con cargas no lineales, las corrientes armónicas fluyen hacia la red a través del transformador de distribución.

Al no existir capacitores en la red, el espectro de corriente se distribuye en los diferentes componentes de la misma, sin variar su composición relativa, aunque su magnitud dependerá de sus admitancias respectivas, sin que se magnifiquen las corrientes armónicas.

Los mayores problemas en las redes eléctricas relacionados con la distorsión armónica, se presentan al instalar capacitores para compensar el factor de potencia de desplazamiento en presencia de cargas no lineales significativas. (4 )

Una tensión con contenido armónico que alimenta a bancos de capacitores, provoca que su corriente se incremente ya que su impedancia se reduce con la frecuencia.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.18)$$

La magnitud del incremento de la corriente eficaz con relación a la corriente nominal fundamental, es función del contenido armónico de la señal de tensión.

$$\frac{I_{rms}}{I_1} = \sqrt{1 + 9\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2 + 25\left(\frac{V_5}{V_1}\right)^2 + \dots} \quad (2.19)$$

Los capacitores al ser cargas lineales no generan armónicas, pero si las magnifican, produciéndose disparos frecuentes de sus interruptores o fallas en los mismos capacitores.

### **Resonancia Serie**

La resonancia serie es una baja impedancia vista por la fuente de armónicos a la frecuencia resonante.

Si un banco de capacitores está en serie con la reactancia del sistema y crea una trayectoria de baja impedancia a la corriente armónica, puede resultar una condición de resonancia Serie.

La resonancia serie puede causar altos niveles de distorsión de tensión entre la inductancia y el capacitor en el circuito debido a la corriente armónica concentrada en la trayectoria de baja impedancia.

Una forma de minimizar los problemas de resonancia por la instalación de bancos de capacitores consiste en distribuir los mismos en diferentes puntos del sistema, para alejar la frecuencia de resonancia a valores más altos.

La resonancia serie frecuentemente causa fallas en el capacitor o en los fusibles debido a la sobrecarga.

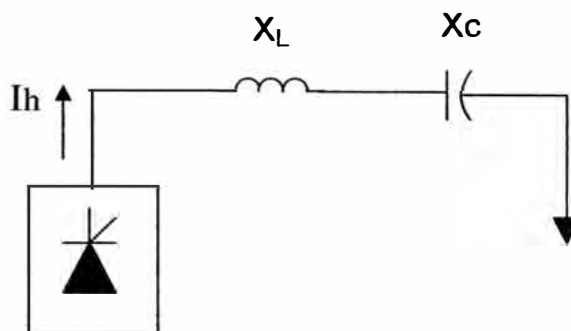
La condición para la resonancia serie está dado por:

$$f_r = f \sqrt{X_c / X_t} \quad (2.20)$$

$f_r$  = Frecuencia resonante serie



- $f$  = Frecuencia fundamental.  
 $X_c$  = Reactancia del banco de capacitores.  
 $X_t$  = Reactancia del sistema.  
 $h$  = Orden de la armónica a la cual puede ocurrir la resonancia.



**Fig. 2.9** Diagrama de línea de un circuito serie

### Resonancia Paralelo.

La resonancia paralela ocurre cuando la reactancia inductiva del sistema y la reactancia capacitiva en paralelo son iguales en cierta frecuencia, y la combinación paralela aparece como una gran impedancia a la fuente de armónicos, la frecuencia donde la gran impedancia ocurre es la frecuencia de resonancia.

Cuando la resonancia paralela existe en el sistema de potencia una significativa distorsión de tensión y amplificación de corriente puede ocurrir. La alta distorsión de la tensión de la barra puede causar flujo de corriente distorsionada en los circuitos adyacentes. La amplificación de la corriente puede resultar en una falla del equipo.

La condición para la resonancia paralelo esta dado por:

$$f_r = f \sqrt{X_c / X_s} \quad (2.21)$$

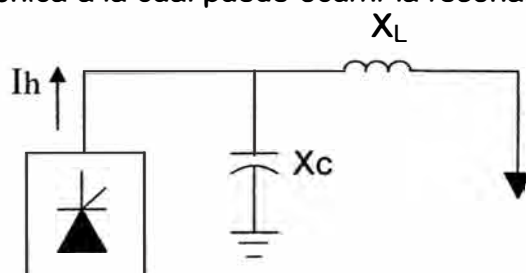
$f_r$  = Frecuencia resonante paralelo.

$f$  = Frecuencia fundamental.

$X_c$  = Reactancia del banco de capacitores.

$X_s$  = Reactancia del sistema.

$h$  = Orden de la armónica a la cual puede ocurrir la resonancia



**Fig. 2.10** Diagrama de línea de un circuito paralelo

## 2.9 Perturbaciones en la red eléctrica.

Las perturbaciones en la red eléctrica, las cuales ocasionan una menor calidad en la señal de alimentación suministrada a los equipos; a esto se le conoce precisamente como calidad de la red eléctrica. Este tema se ha vuelto muy importante en los últimos años debido a que los usuarios domésticos, comerciales e industriales han reportado un aumento de estas perturbaciones en la red, mismas que pueden ocasionar un mal funcionamiento de un equipo eléctrico o electrónico y en ocasiones pueden llegar a dañarlo permanentemente, ocasionando principalmente pérdidas económicas importantes.

Actualmente, las normas vigentes e internacionales referentes a la calidad de la energía eléctrica y la contaminación hacia la red eléctrica con corrientes armónicas, han cobrado especial interés debido a las perturbaciones que presenta la onda de tensión que proporciona la red. Idealmente esta onda de tensión debe ser una senoide pura con una frecuencia constante; sin embargo, en la realidad esto no sucede, ya que la onda de tensión presenta perturbaciones como: ruidos en modo diferencial o común, impulsos eléctricos, variaciones rápidas o lentas de tensión, parpadeo (flicker), distorsión armónica y variaciones de frecuencia. Si la red eléctrica se encontrara libre de usuarios, ésta presentaría una onda de tensión de buena calidad, la cual se vería perturbada ocasionalmente debido a fallas en los centros de generación, de distribución o debido a descargas atmosféricas, principalmente. Sin embargo, cuando un número muy grande de usuarios está conectado a la red, la someten a un número muy grande de cargas eléctricas que aunque funcionen correctamente pueden alterar la onda de tensión con caídas permanentes o transitorias excesivas e inyección de corrientes armónicas.

A continuación, se presenta un resumen de las principales perturbaciones que se encuentran en la red y el origen de las mismas.(6)

- Ruidos e impulsos en modo diferencial
- Variaciones lentas y rápidas de tensión
- Parpadeo (flicker)
- Microcortes.
- Cortes largos.
- Distorsión Armónica.
- Variaciones de frecuencia.

### A) Clasificación de las perturbaciones eléctricas

A continuación mostramos los grupos de variaciones de tensión según sus perturbaciones.

**Tabla 2.1** Variaciones de la perturbaciones eléctricas [ 2 ]

<b>Grupo</b>	<b>Tipo de perturbación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Métodos caracterización</b>
Transitorios.	Impulsos	Cambio repentino de tensión, corriente o ambos unidireccional en polaridad	Valor de pico, tiempo subida y duración.
	Oscilaciones	Cambio repentino de tensión, ó corriente con polaridad positiva y negativa	Valor de pico, componentes de frecuencia.
Variaciones de tensión de breve duración. ( t < 10 seg.)	Interrupciones y microcortes	Caída de tensión menor de 0.60 p.u. Si la duración es menor que 1 ciclo de red.	Magnitud y duración.
	Caídas breves	Caída de tensión entre 0.93 y 0.60 p.u.	Magnitud y duración.
	Sobretensiones breves	Aumento de tensión entre 1.07 y 1.80 p.u.	Duración.
Variaciones de tensión larga duración ( t > 10 seg.)	Cortes largos	Caída de tensión por debajo de 0.60 p.u.	Magnitud y duración.
	Caídas largas	Caída de tensión entre 0.93 y 0.60 p.u.	Magnitud y duración.
	Sobretensiones largas	Aumento de tensión entre 1.07 y 1.20 p.u.	Duración.
Distorsión de la forma de Onda.	Desajuste de continua	Presencia de un nivel de tensión continua típicamente menor del 0.1%	Voltios amperios
	Armónicos de tensión	Desviación permanente de la forma de onda caracterizada, a partir del desarrollo en serie de Fourier, como la superposición de tensiones sinusoidales múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y con desfase determinado.	Espectro de frecuencias
	Inter armónicos	Desviación permanente de la forma de onda caracterizada, a partir del desarrollo en serie de Fourier, como la superposición de tensiones sinusoidales múltiplos no enteros de la frecuencia fundamental.	
	Ruidos de conmutación	Perturbación periódica de la tensión originada por la conmutación en convertidores electrónicos de potencia.	Espectro de frecuencias
	Ruido genérico.	Señales no deseadas de frecuencia elevada superpuesta a la tensión de red de forma permanente. Pueden producirse en forma común.	
Otras perturbaciones	Desequilibrios	Desigualdad entre las amplitudes y/o los desfases de las tensiones de un sistema trifásico.	Componentes simétricas
	Parpadeo ó Flicker	Variación de envolvente de la onda de tensión.	Frecuencia de ocurrencia, frecuencia de modulación.
	Variaciones de frecuencia	Alteraciones de la frecuencia de la red.	

## 2.10 Normatividad Existente.

Según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos ( NTCSE ), establece en nuestro país, las tolerancias y que se fijan según el cuadro mostrado y consideran las armónicas comprendidas entre la armónica de 2° orden y la 40° orden, incluyendo ambas.

**Tabla N°2.2** Valores específicos de la Norma Técnica de los Servicios Eléctricos [ 13 ]

Porcentajes de la distorsión armónica según la NTCSE		
Orden (n ) de la armónica ó THD	TOLERANCIA	
	Vi ó THD % con respecto a la tensión nominal del punto de medición	
	Alta y muy Alta Tensión.	Media y Baja Tensión
Armónicas impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
> de 25	0,1 + 2,5/n	0,2 + 12,5/n
Armónicas impares múltiplos de 3		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
< 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
< de 12	0,2	0,5
THD	3	8

El factor de Distorsión total (THD) esta definido por :

$$THD = \sqrt{(\sum_{i=2}^{40} V_i^2 / V_n^2)}. 100\% \quad (2.22)$$

Vi = Es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica i (para i = 2...40) expresada en voltios.

Vn = Es la tensión nominal del punto de medición expresada en voltios.

**Tabla N° 2.3** Limites de Distorsión armónicos de voltaje de según IEEE 519 – 1992 [2]

Tensión de Barra en el punto de acoplamiento común PCC (Vn)	Distorsión Individual de Tensión ( % )	Distorsión Total de Tensión THD (%)
$V_n \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} \leq V_n < 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$V_n > 161 \text{ kV}$	1.0	1.5

**Tabla N° 2.4** Limites de Distorsión armónicos de Corriente [2]

<i>V<sub>n</sub> ≤ 69 kV</i>						
$I_{SC} / I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 – 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 – 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 – 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
<i>69 kV &lt; V<sub>n</sub> ≤ 161 kV.</i>						
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 – 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 – 100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100 – 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
<i>V<sub>n</sub> &gt; 161 kV.</i>						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

-  $I_{SC}$  = Máxima corriente de cortocircuito en el punto común de conexión PCC.

-PCC = El nudo más cercano de la red donde dos o más usuarios obtienen energía eléctrica. (Punto de acoplamiento común).

-  $I_L$  = Máxima corriente de carga (valor efectivo) de frecuencia fundamental en el PCC.

Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de corriente, sin importar la relación  $I_{SC}/I_L$ .

- Para las armónicas pares, los límites son el 25% de los valores especificados en la tabla
- No se permite la existencia de componentes de corriente directa, que corresponden a la armónica cero.
- Si las cargas que producen las armónicas utilizan convertidores con número de pulsos "q" mayor a 6, los límites indicados en la tabla se incrementan por un factor:

$$\sqrt{\frac{q}{6}} \quad (2.23)$$

La distorsión de demanda total TDD está definida como:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (2.24)$$

donde:

I<sub>h</sub>: Magnitud de la armónica individual

I<sub>L</sub>: Demanda máxima de la corriente fundamental de la carga.

h : Orden armónico impar

## 2.11 Filtros.

Hoy en día, la electrónica de potencia y el proceso de señales (analógicas y, sobre todo, digitales) está presente en todo tipo de cargas lineales y no lineales como la informática, la automatización, los sistemas principales de mando y control que tienen todo un enlace alrededor de las redes eléctricas que los alimentan.

Si los receptores no lineales (rectificadores, variadores de velocidad, convertidores, fuentes de alimentación conmutada, etc.) son perturbadores, los sistemas electrónicos de señal están expuestas a perturbaciones e interferencias eléctricas y magnéticas de todo tipo.

Estas cargas no lineales generan corrientes armónicas, debido a la impedancia de cortocircuito de la red, provocan la aparición de armónicos de tensión en el punto de conexión. El aumento de los armónicos de baja frecuencia en la red de distribución, que generalmente coinciden con los armónicos dominantes de estas cargas no lineales, ocasiona problemas para los receptores conectados al mismo punto, como calentamientos, defectos de aislamiento y fallos de operación de equipos de medida, control y protección.

Ante esta situación, surge la necesidad de diseñar dispositivos capaces de reducir estas perturbaciones con la intención de mejorar la calidad de red y se ve la necesidad de la creación de filtros, estos diseños de los equipos de filtrado de potencia ha tenido un

gran desarrollo en los últimos años, de forma paralela a la aparición de nuevos dispositivos semiconductores de potencia y a la implantación de nuevas tecnologías de procesado digital de señal. Estos avances permiten plantear la realización de nuevos métodos de control de este tipo de equipos de compensación.

Partiendo de la definición de los tipos de perturbaciones básicas, y sus fuentes que la generan, se proponen modelos ó esquemas más adecuados para su compensación.

Se presenta el diagrama de bloques de un filtro genérico explicando la función de cada una de sus partes.

Para la eliminación de estos armónicos ya sean de tensión o de intensidad, se han propuesto diferentes topologías, que incluyen filtros pasivos y activos conectados en serie o en paralelo, dependiendo de los armónicos a eliminar, o también basadas en una combinación de filtros pasivos con filtros activos (híbridos)

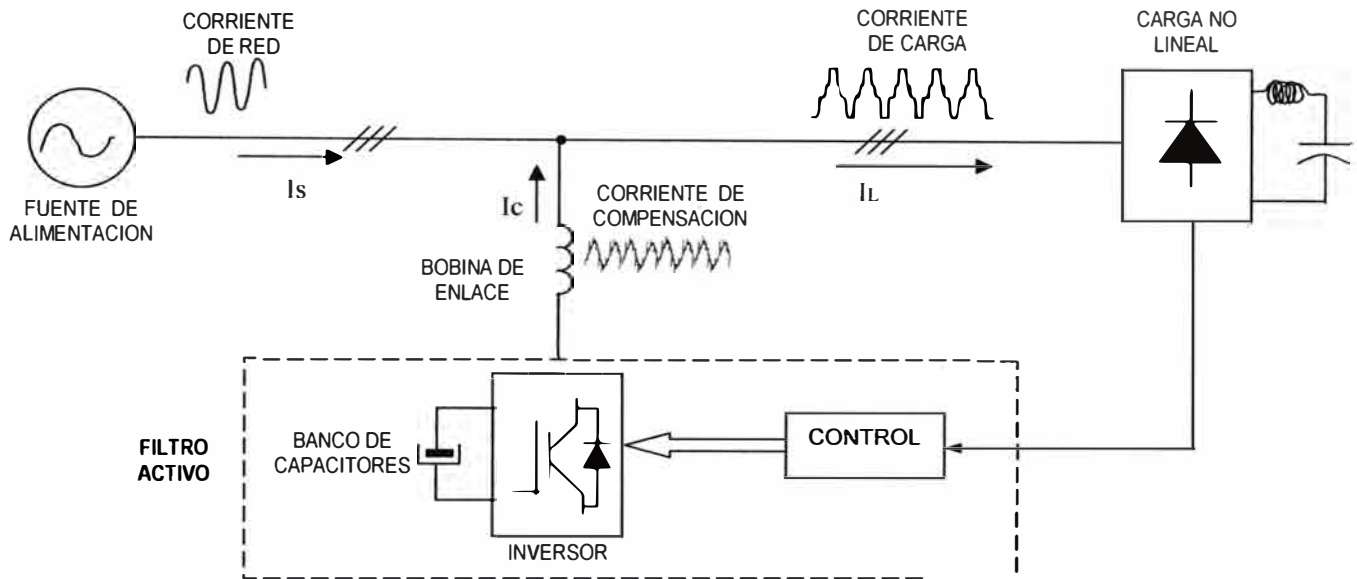
A continuación, se presentan, una serie de combinaciones de filtros activos, pasivos, e híbridos comentando sus ventajas e inconvenientes y su posible campo de aplicación.

#### **2.11.1 Filtros Activos.**

El principio de funcionamiento básico de un filtro de potencia activo consiste en un elemento pasivo, capaz de almacenar la energía asociada a la perturbación que se pretende compensar, y un convertidor de potencia compuesto por dispositivos semiconductores (IGBTs) (2) que permiten gestionar el flujo de energía entre el elemento de almacenamiento y la red eléctrica mediante el control de su estado de conmutación.

Básicamente un Filtro Activo de Potencia cancela las corrientes armónicas generadas en la carga mediante la inyección de las mismas corrientes armónicas pero en oposición de fase, de forma que se consigue eliminar la distorsión de la onda y está formado por un convertidor (normalmente un inversor de tensión VSI ), un elemento de almacenamiento de energía (habitualmente un condensador) debe ser capaz de absorber o suministrar el contenido de corriente armónica que se requiera en cada momento, unos circuitos de medida de las tensiones y corrientes, y un circuito de control que se encarga de la obtención de consignas (es el encargado de separar la componente fundamental y los armónicos de la corriente que absorbe la carga), el control y la generación de las señales moduladas PWM (Pulse Width Modulated), (que controlan la magnitud y la frecuencia de la onda de salida, con una tensión de entrada  $V_d$  constante) que actúan sobre el convertidor. Además el FAP (Filtro Activo de Potencia) puede contar con transformadores y o bobinas para su conexión a la red.

Los filtros activos utilizados para la reducción de perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de varias formas: en filtros series, filtros paralelos, los filtros serie – paralelo según se presente el efecto de cada una de las topologías.



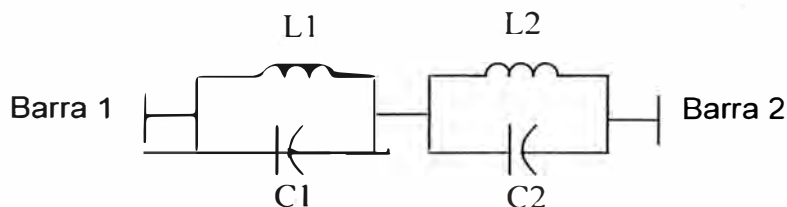
**Fig. 2.11** Principio de funcionamiento de un filtro activo.

### 2.11.2 Filtros Pasivos.

El uso de estos filtros para componentes armónicas en sistemas de potencia tienen dos objetivos: servir de sumidero para las corrientes y tensiones armónicas; y proveer al sistema de toda o parte de la potencia reactiva que éste necesita.

Los filtros pasivos pueden ser, según el propósito particular que se persigue, de dos tipos:

**a ) Los Filtros Series**, evitan el paso de una componente de frecuencia particular, desde el contaminante hacia alguna componente de la planta o parte del sistema de potencia, mediante la presencia de una gran impedancia serie a la frecuencia especificada. Estos constan de un inductor y un capacitor en paralelo que se posicionan en serie a la parte de la red que se desea proteger.



**Fig. 2.12** Filtro Pasivo Serie



**b ) Los Filtros Shunt o paralelo** proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, y consisten en una rama resonante serie, compuesta por elementos RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación, entre otros.

El filtro paralelo presenta mayores ventajas que el filtro serie porque: Es más económico, sólo transporta las corrientes armónicas para las que fue sintonizado, proporciona una parte de la potencia reactiva al sistema.

Existe una gran variedad de configuraciones de filtros, pero las más utilizadas son los Filtros Sintonizados Simples y los Pasa Altos.

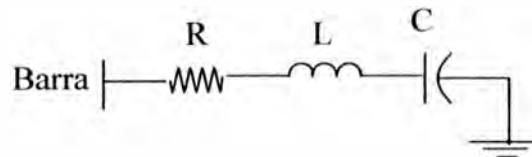
**b.1 ) Filtro sintonizado simple.**

Elimina una armónica determinada; consiste en un banco de condensadores conectado en serie con un inductor este filtro se sintoniza a la frecuencia armónica  $h$  que se desea eliminar, para esta frecuencia, las reactancias inductiva y capacitiva son iguales y por lo tanto se anulan, entonces la impedancia que presentará el filtro para esta frecuencia es mínima (valor igual a la resistencia), y absorberá gran parte de la corriente armónica contaminante.

$R$  = Resistencia interna de la inductancia.

$L$  = Inductancia.

$C$  = Capacitancia

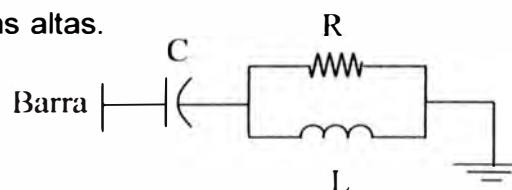


**Fig. 2.13** Filtro sintonizado simple

**b.2 ) Filtro pasa altos.**

Son utilizados para eliminar un amplio rango de frecuencias, y se emplean cuando las armónicas no tienen frecuencia fija.

Este filtro, al igual que el sintonizado simple, se sintoniza a alguna frecuencia específica; pero debido a que posee una característica amortiguada producto de la resistencia en paralelo con la inductancia, presenta una baja impedancia para la frecuencia de sintonía y superiores a ésta. Absorbe corrientes armónicas, si existen, frecuencias desde la de sintonía en adelante. Para frecuencias menores a la sintonía, el filtro presenta impedancias altas.



**Fig. 2.14** Filtro pasa altos

### 2.11.3 Filtros Híbridos.

Estos filtros son arreglos que combinan las características de los filtros activos y filtros pasivos. El propósito principal de estos arreglos es reducir costos iniciales y mejorar su eficiencia. Los arreglos que pueden tener estos filtros son:

- Filtro activo en serie con la línea.
- Filtro activo en serie con el filtro pasivo.
- Filtro activo en paralelo con la línea y la carga.

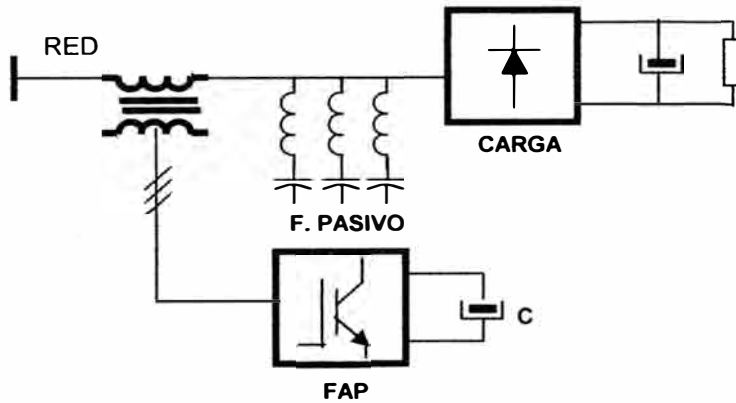


Fig. 2.15 Filtro activo en serie con la línea

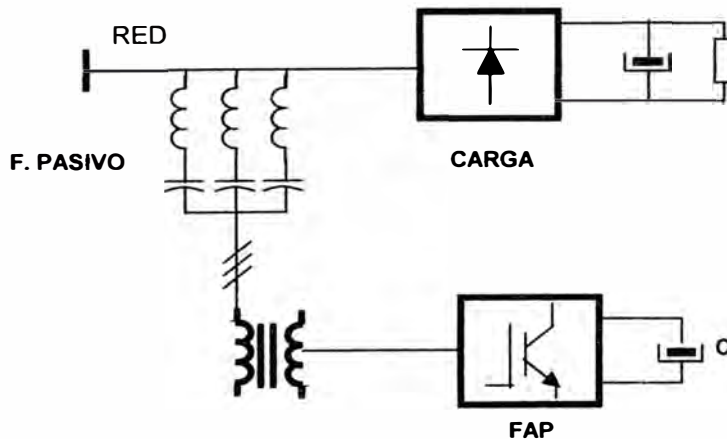


Fig. 2.16 Filtro activo en serie con el filtro pasivo

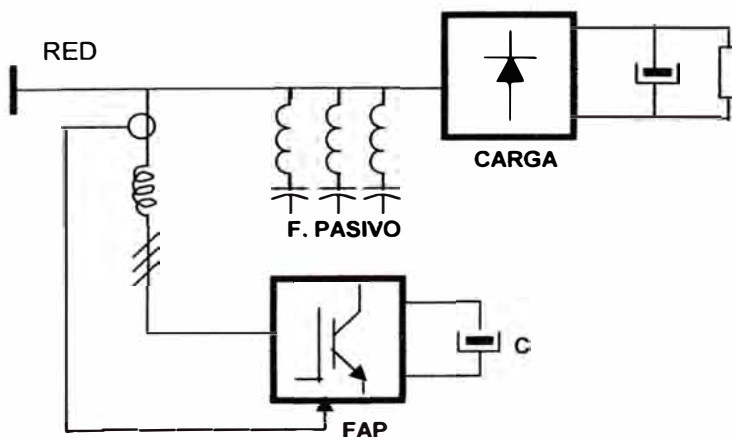


Fig. 2.17 Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo

#### 2.11.4 Comparación de los filtros activos con los filtros pasivos.

- Cabe señalar que los filtros activos presentan como principales ventajas frente a los pasivos; que pueden adaptarse a las condiciones cambiantes de la carga y de la propia red eléctrica; que se reduce la posibilidad de aparición de resonancias entre la red y el filtro (posible causa de sobre tensiones en puntos concretos de la red); y que además de la reducción de armónicos los FAP pueden también acometer otras tareas como son la corrección del coseno de  $\alpha$  (desfase entre las ondas de tensión y corriente) y el equilibrado entre las fases.
- De todas las alternativas que existen en la actualidad para filtrar armónicas, las grandes ventajas que presentan los filtros activos han desplazado casi totalmente a sus antecesores pasivos, porque significa disminuir los costos de mantenimiento, eliminar la totalidad de las armónicas presentes en los alimentadores, compensar en forma automática la potencia reactiva y además disponer de mayor espacio libre en los tableros.
- Los filtros Pasivos presentan limitaciones como: [ 8]
  - a. Su tamaño, se requiere un filtro para cada frecuencia armónica.
  - b. Puede presentar resonancia con el sistema bajo condiciones transitorias.
- Los filtros Activos presentan las siguientes características:
  - a. Flexibilidad en el control.
  - b. Rápido tiempo de respuesta.
  - c. Bajo costo por mantenimiento (no tiene partes móviles.)
  - d. El equipo puede compensar amplios rangos de frecuencia.
  - e. Proporcionan un rango continuo de compensación de potencia reactiva.
  - f. No presenta problemas de resonancia natural.

## **CAPÍTULO III**

### **EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUSTRIAL.**

#### **3.1 Descripción y Análisis de la red eléctrica a estudiar.**

La realización del diagnóstico de calidad de servicio en la red de suministro eléctrico de la Empresa Industrial partió del monitoreo de su comportamiento que nos ha permitido identificar eventos potencialmente perjudiciales para su posterior corrección y así eliminar los resultados indeseados en la operación de equipos y sistemas, de manera que se puedan aplicar medidas correctivas atendiendo a las particularidades de cada sistema.

El incremento de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos hace que cada vez sea más necesaria la caracterización de las instalaciones desde el punto de vista de generación de armónicos. Es decir, establecer los armónicos típicos, los niveles de distorsión, los rangos de variación de las cargas perturbadoras etc., teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y la corrección del factor de potencia. En la actualidad a pesar de existir ya un nivel considerable de aplicación de los filtros para la absorción de armónicos, resulta necesario establecer criterios y evaluar de forma independiente, los diferentes casos que se presentan en las redes, considerando los conceptos y distintos enfoques de estos problemas, con vista a reducir los costos de las medidas correctivas y garantizar una buena calidad del suministro.

##### **3.1.1 Objetivo**

El objetivo principal es determinar si los parámetros eléctricos y armónicos en el punto de medición están dentro de los valores referenciados en las normas utilizadas y proponer mejoras al sistema eléctrico.

Y así darle una confiabilidad en la duración de la vida útil de los equipos y una mejor prestación del servicio al usuario.

##### **3.1.2 Normas referenciales.**

- CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, Sistema de Utilización.
- NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE SERVICIOS ELÉCTRICOS NTCSE
- IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.
- IEEE 519 Límites en la Distorsión de Tensión.

### 3.2 Descripción de las mediciones.

**Tabla 3.1** Relación de las subestaciones y transformadores de potencia [ 12 ]

<b>Subestación</b>	<b>Transformador</b>	<b>Punto de Medición</b>	<b>Interruptor Termo-magnético</b>
Celda de llegada	-	10kV, 3Ø, 60Hz	Marca: Schneider Electric Interruptor de Potencia Corriente: 1250A, Tensión: 17.5kV
N°1	Marca: Canepa Tabini S.A Serie: 10709 Tensión: 10/0.24kV Potencia: 400kVA Grupo conexión: Yd	240V, 3Ø, 60Hz	-
N°2	Marca: Brown Boveri Canepa Tabini S.A. Serie: L 13859 Tensión: 10/0.24kV Potencia: 800kVA Grupo conexión: Yd11	240V, 3Ø, 60Hz	Marca: Westinghouse Corriente: 2500A
	Marca: BBC Tensión: 10/0.24kV Potencia: 800kVA Grupo conexión: Yd11	240V, 3Ø, 60Hz	Marca: Siemens Corriente: 2000A
N°3	Marca: Delcrosa Serie: 144224-T1 Tensión: 10/0.46kV	460V, 3Ø, 60Hz	Marca: ABB Corriente: 3200A

	<p>Potencia:2000kVA Grupo conexión: Dyn5</p>		
	<p>Marca: Canepa Tabini S.A. Serie: 10560 Tensión: 10/0.24kV Potencia:500kVA Grupo conexión: Yd</p>	240V,3Ø,60Hz	<p>Marca: Merlin Gerin Corriente: 2000A</p>
N°4	<p>Marca: Canepa Tabini S.A Tensión: 10/0.24kV Potencia:400kVA Grupo conexión: Yd</p>	240V,3Ø,60Hz	Corriente:600A
N°5	<p>Marca: Delcrosa Serie: 144223-T1 Tensión: 10/0.46kV Potencia:640kVA Grupo conexión: Dyn5</p>	460V,3Ø,60Hz	<p>Marca: Schneider Electric Corriente:1000A</p>
	<p>Marca: ABB Serie: 190465-01 Tensión: 10/0.46kV Potencia:640kVA Grupo conexión: Dyn5</p>	460V,3Ø,60Hz	<p>Marca: Merlin Gerin Corriente: 1250A</p>

3.2.1 Puntos de medición en el sistema eléctrico.

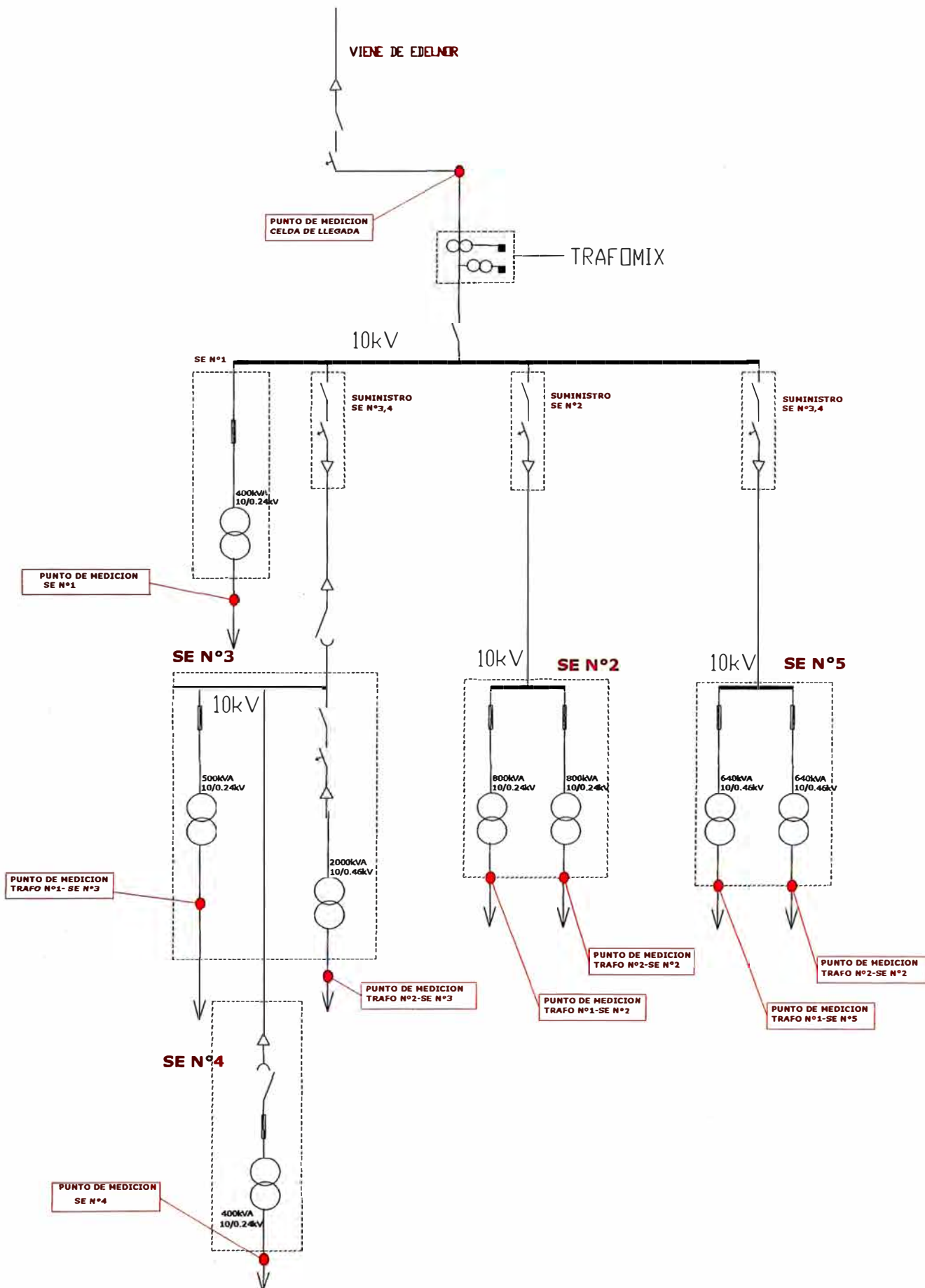


Fig.3.1 Esquema de los puntos de medición en el sistema eléctrico

### 3.2.2 Descripción y metodología de la medición.

Consistió en la instalación de dos analizadores de redes eléctricas:

Marca Circutor Modelo AR5L.

Marca Yokogawa Modelo CW240

Con periodo de integración de 10 minutos, el cual se instaló en los alimentadores de los circuitos:

**Tabla 3.2** Relación de los puntos de medición en las subestaciones [ 12 ]

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
Celda de llegada	10kV,3Ø,60Hz	ITM Potencia	SE_PR
N°1	240V,3Ø,60Hz	-	SET_1
N°2	240V,3Ø,60Hz	Westinhouse-2500A	SE_2_T1
	240V,3Ø,60Hz	Siemens-2000A	SE_2_T2
N°3	460V,3Ø,60Hz	ABB-3200A	SE3_440
	240V,3Ø,60Hz	Merlín Gerin-2000A	T3_220
N°4	240V,3Ø,60Hz	600A	SE_N4
N°5	460V,3Ø,60Hz	Merlín Gerin-1250A	SE_5_T1
	460V,3Ø,60Hz	Schneider Electric-1000A	SE_5_T2

La campaña de mediciones se inició el día lunes 11 de abril y culminó el lunes 09 de mayo del 2011, los parámetros eléctricos que se registraron son los siguientes:

- Tensión AC trifásica,  $V_{pp}$ ,  $V_{pn}$ .
- Corriente AC trifásica,  $I_{max}$ ,  $I_{min}$ .
- Potencia activa, trifásica, máx., min.
- Potencia Reactiva y aparente.
- Diagrama de carga.
- Máxima demanda energética.
- Armónicos de tensión hasta el orden 50.
- Tasa de distorsión armónica tensión THDV
- Armónicos de corriente hasta el orden 50.
- Tasa de distorsión armónica corriente THDI
- Forma de onda (tensión y corriente).
- Frecuencia eléctrica.
- Factor de potencia.



### 3.3 Datos Registrados en la celda de llegada (10kV.)

Tabla 3.3 Datos de la celda llegada

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
Celda de llegada	10kV,3Ø,60Hz	ITM Potencia	SE_PR

#### 3.3.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.4 Nivel de tensión permitida

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
NTCSE ( $\pm 5\%V_n$ )			10500	9500
V(CH1)	10090	9740	CUMPLE	CUMPLE
V(CH2)	10090	9730	CUMPLE	CUMPLE
V(CH3)	10050	9690	CUMPLE	CUMPLE

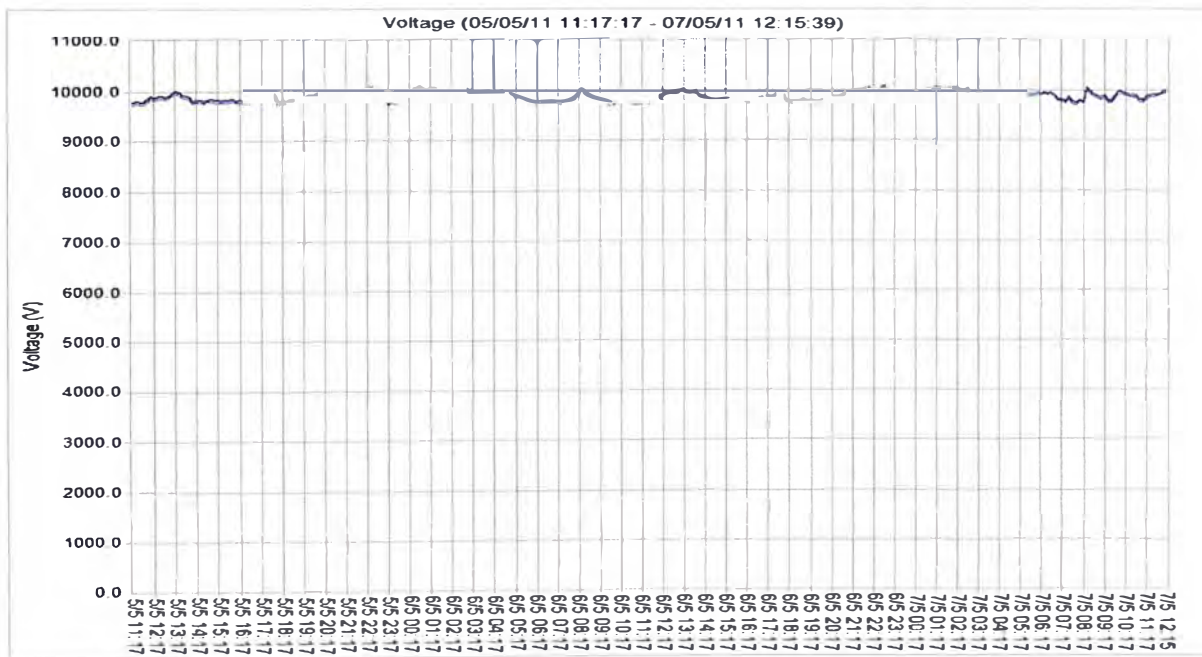


Fig. 3.2 Nivel de Tensión (Celda de llegada 10kV)

#### 3.3.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.5 Nivel de frecuencia permitida

FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
NTCSE ( $Afk\%: \pm 0.6\%F_n$ )		60.36	59.64
60.48	59.59	NO CUMPLE	NO CUMPLE

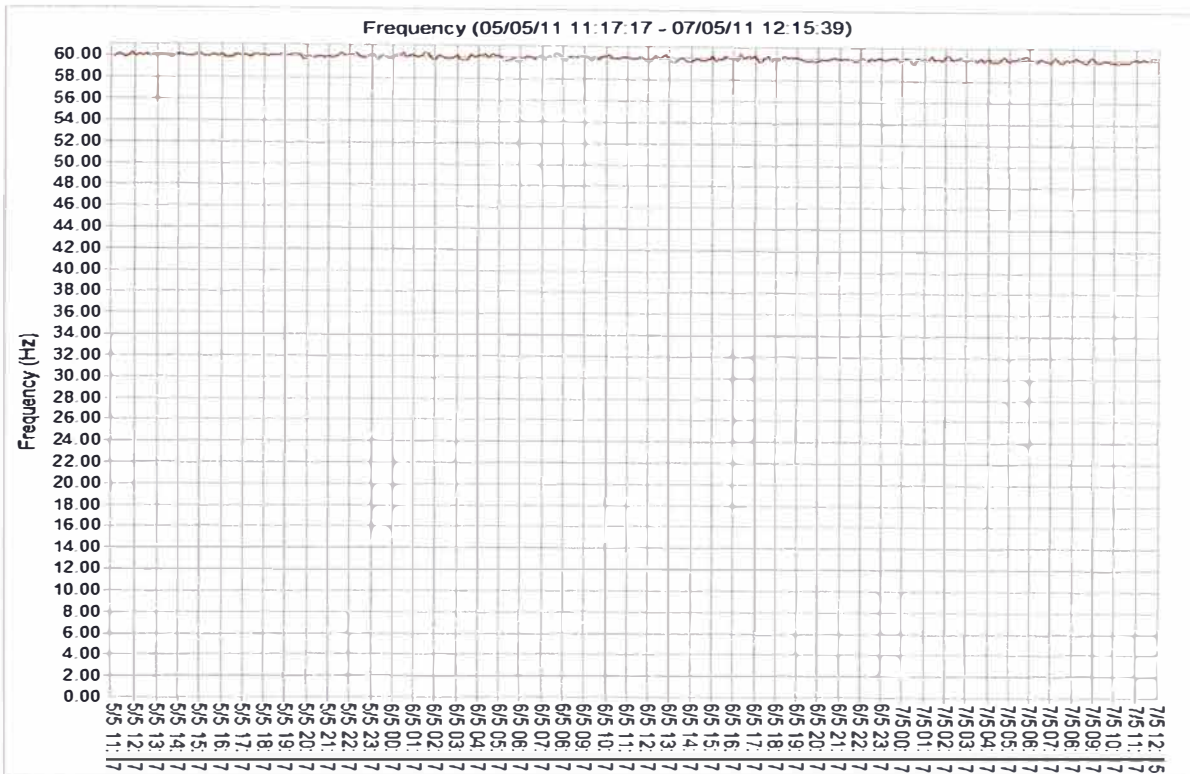


Fig. 3.3 Frecuencia (Celda de llegada 10kV)

### 3.3.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

Tabla 3.6 Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>118.25</b>	<b>549.68</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.  
ISC=corriente de cortocircuito

Tabla 3.7 Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

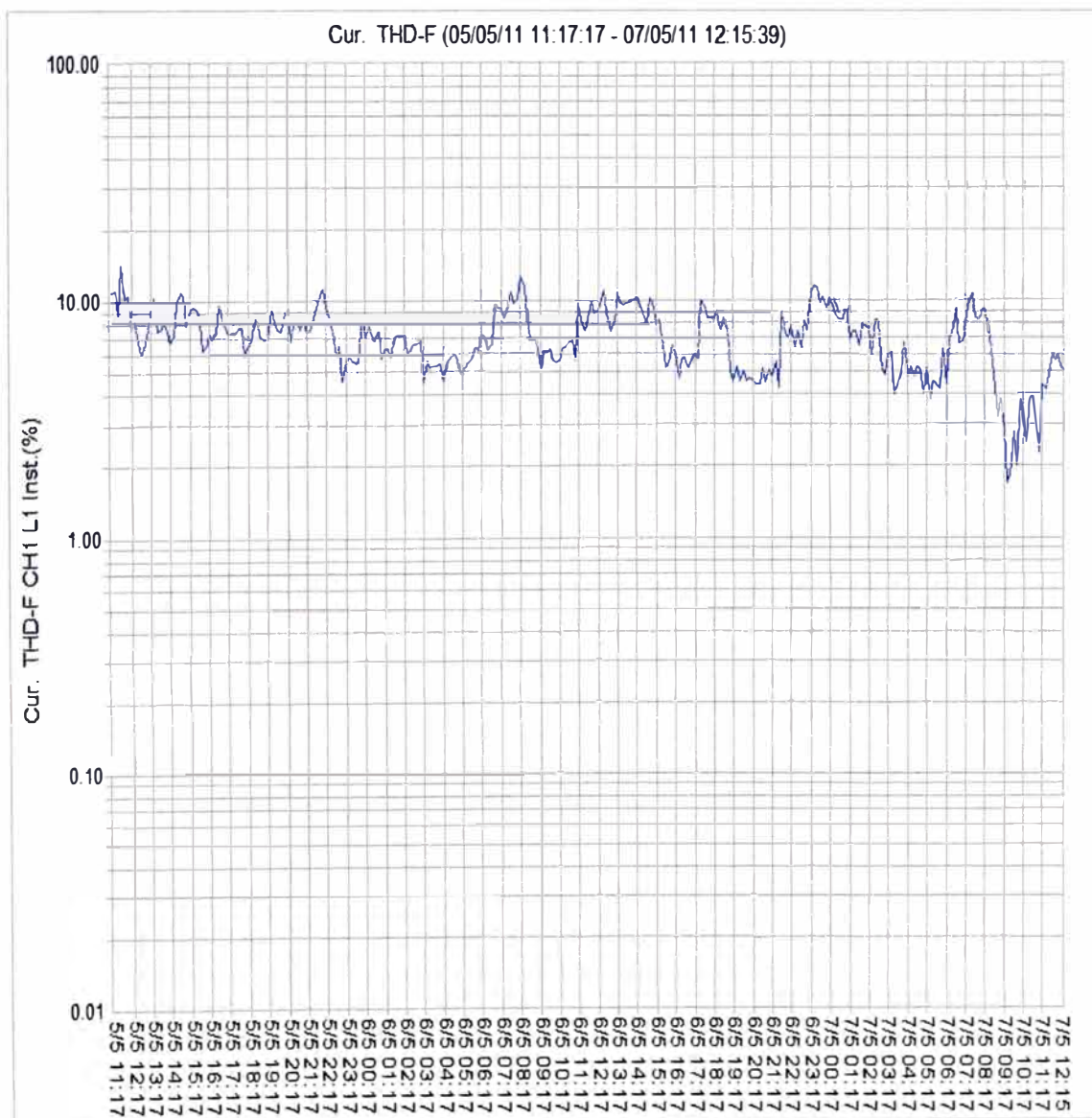
FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(CH1)	06/05/2011 07:17 a 06/05/2011 08:27	<b>8.4%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	06/05/2011 07:17 a 06/05/2011 08:27	<b>8.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	05/05/2011 11:17 a 05/05/2011 12:17	<b>8.3%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.8** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(CH1)	05/05/2011 11:47	<b>14.1%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	05/05/2011 11:47	<b>13.6%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	05/05/2011 11:47	<b>14.7%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.9** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>



**Fig. 3.4** Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH1 (THDI-CH1)

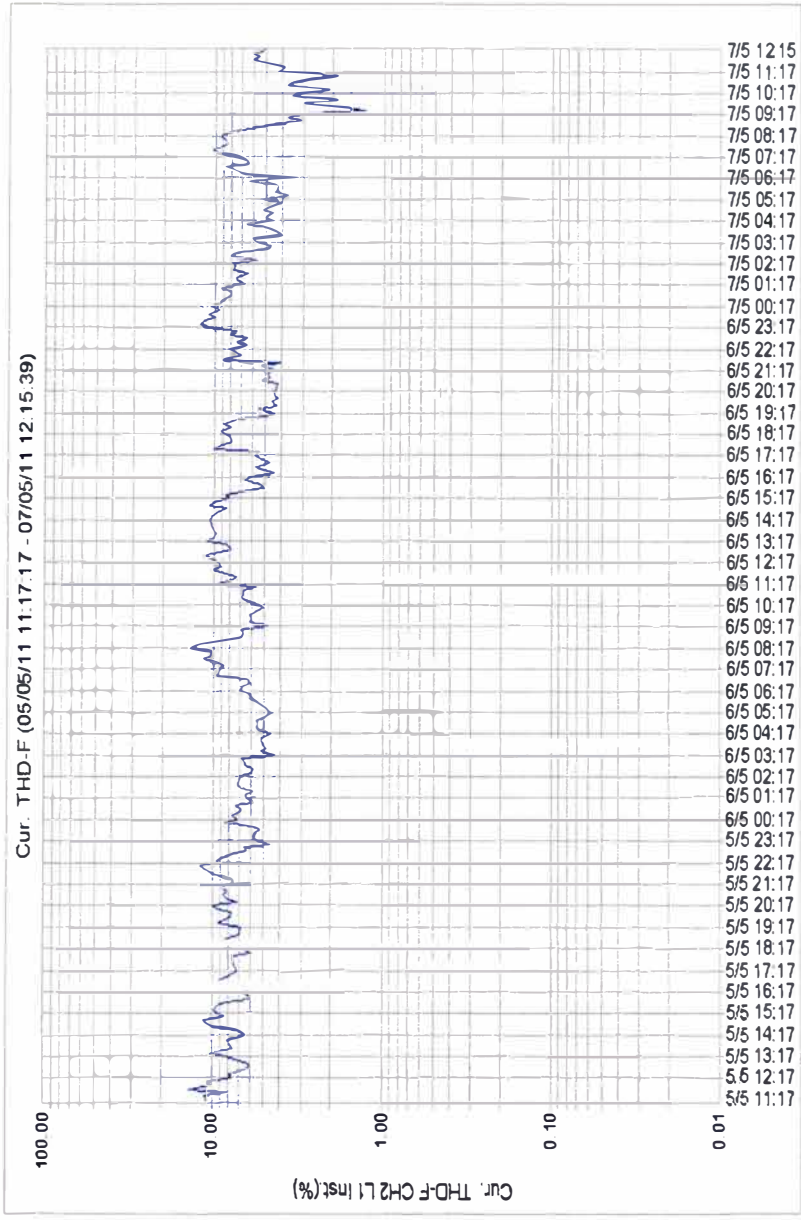


Fig. 3.5 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH2 (THDI-CH2)

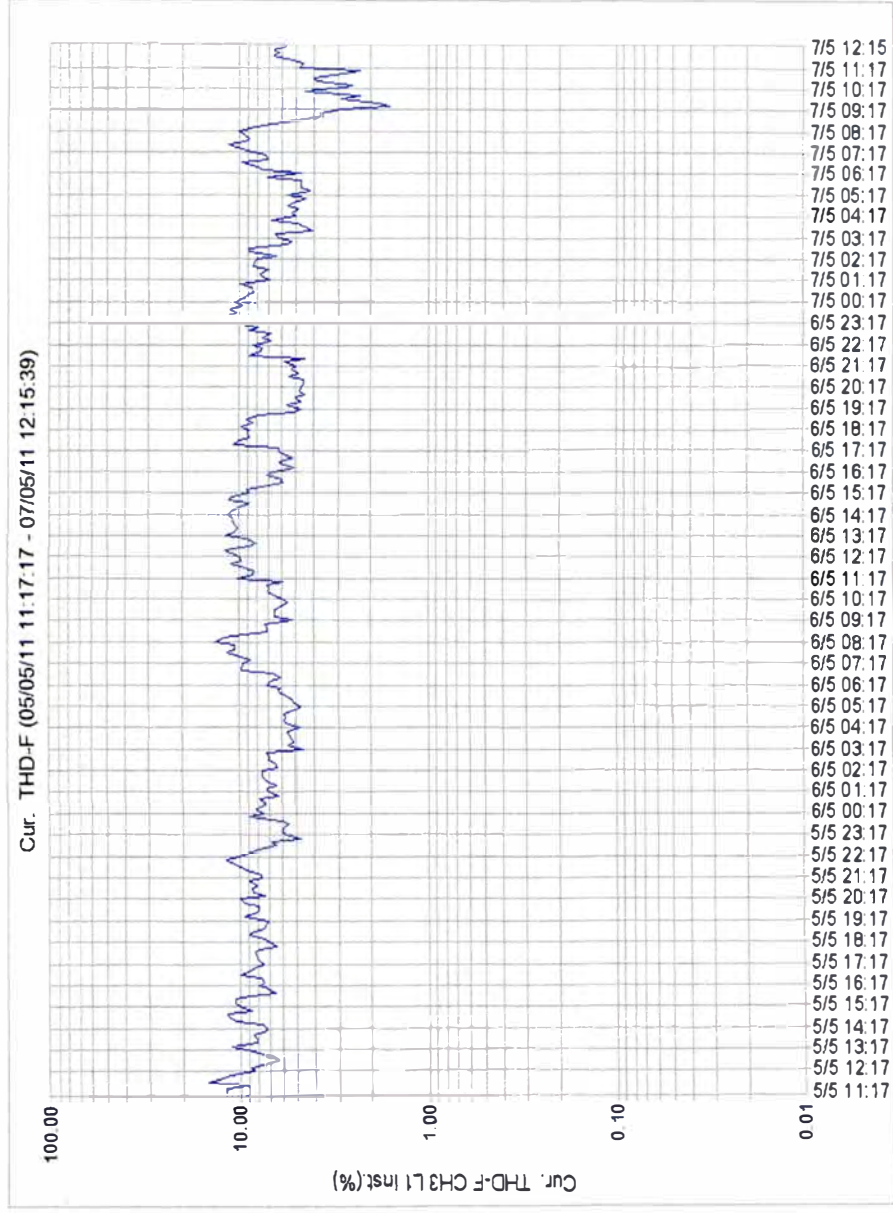


Fig. 3.6 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH3 (THDI-CH3)

## B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)

**Tabla 3.10** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(CH1)	05/05/2011 14:27 a 05/05/2011 15:27	<b>4.9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	05/05/2011 14:37 a 05/05/2011 15:37	<b>5%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	05/05/2011 14:47 a 05/05/2011 15:47	<b>5%</b>	<b>CUMPLE</b>

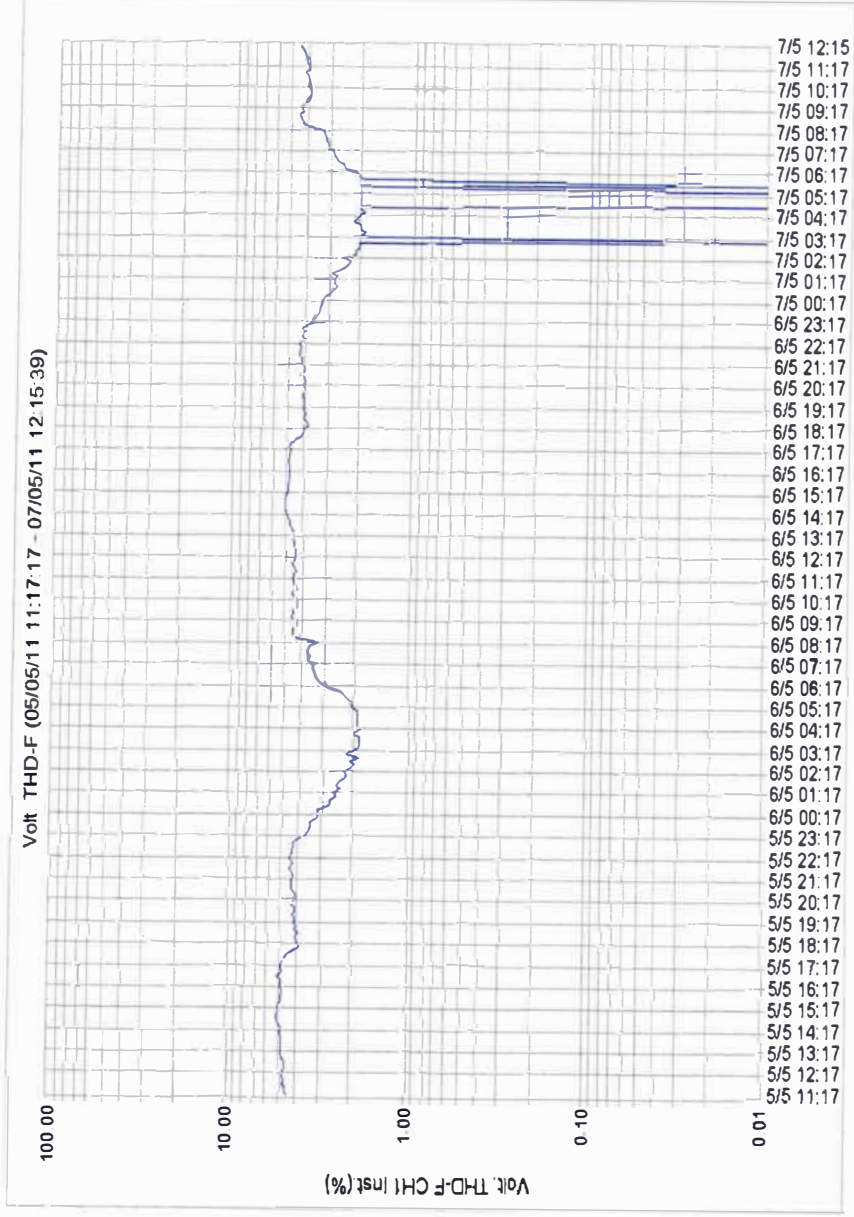
**Tabla 3.11** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(CH1)	05/05/2011 14:47	<b>5.1%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	05/05/2011 14:57	<b>5.3%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	05/05/2011 14:47	<b>5.3%</b>	<b>CUMPLE</b>

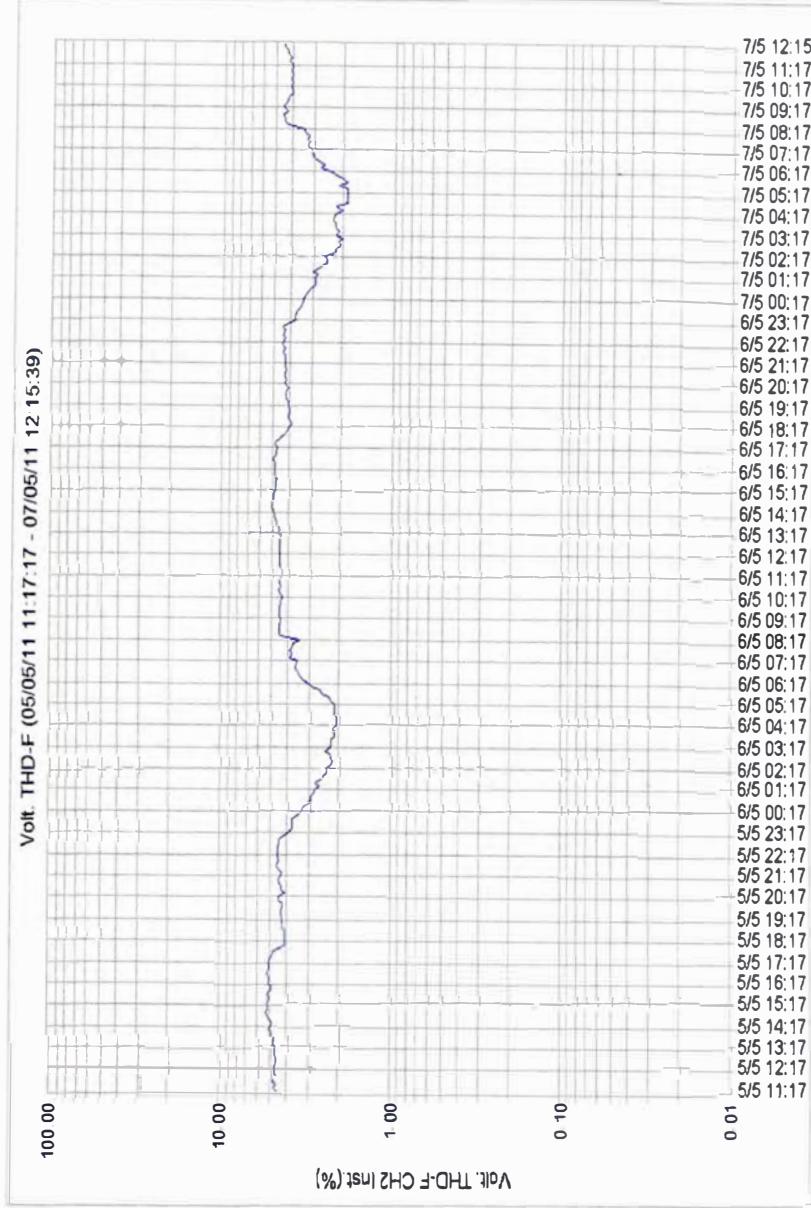
**Tabla 3.12** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>CH1</b>	05/05/2011 15:07	0%	5%	0%	0%	0%
<b>CH2</b>	05/05/2011 14:37	0%	5%	0%	0%	0%
<b>CH3</b>	05/05/2011 14:57	0%	5.3%	0%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3-7 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH1 (THDV-CH1)**



**Fig. 3-8 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH2 (THDV-CH2)**

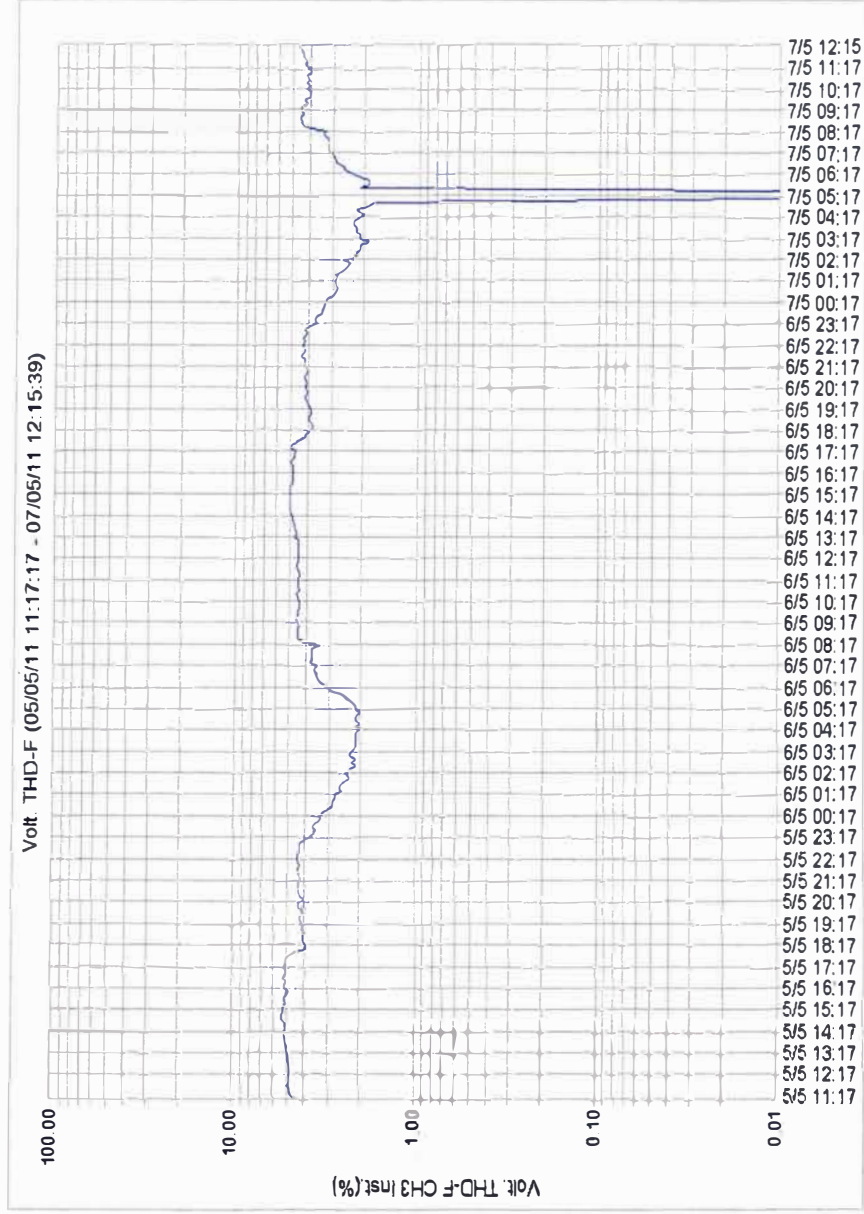


Fig. 3.9 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH3 (THDV-CH3)

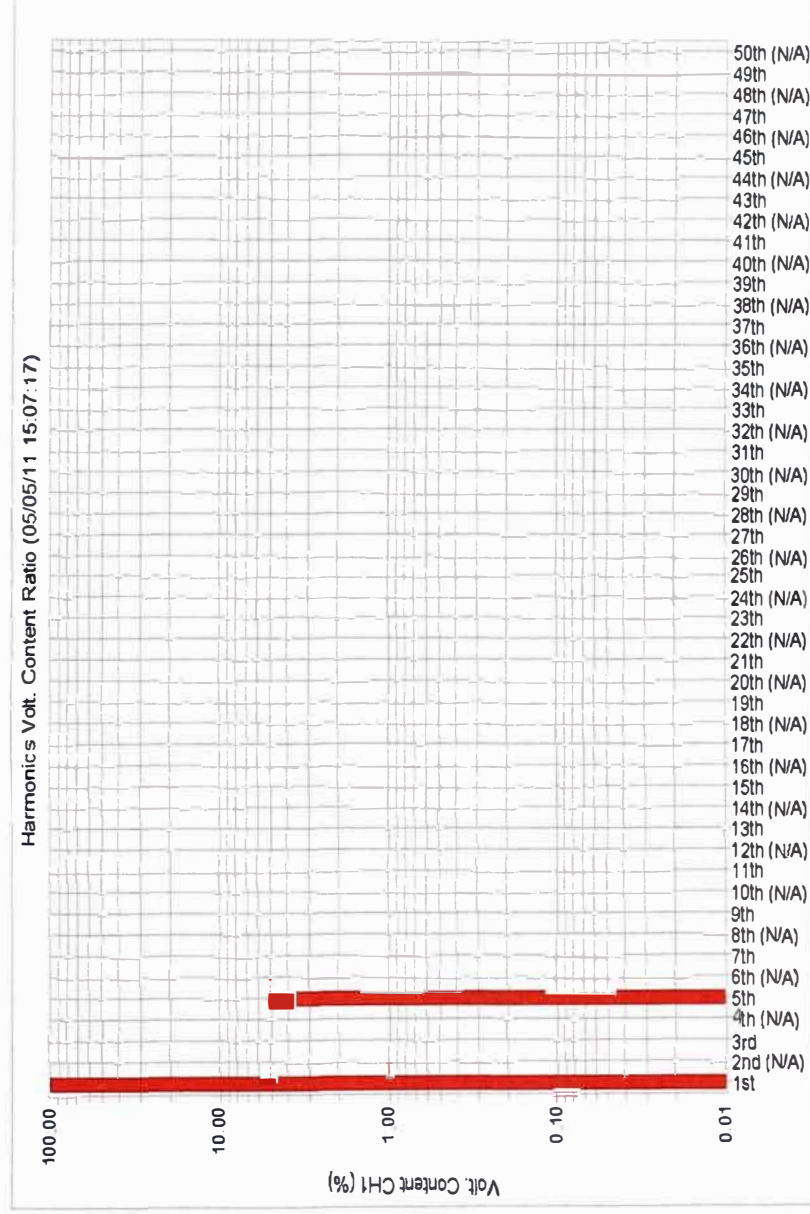


Fig 3.10 Armónicos de tensión individuales CH (THDV – CH1)

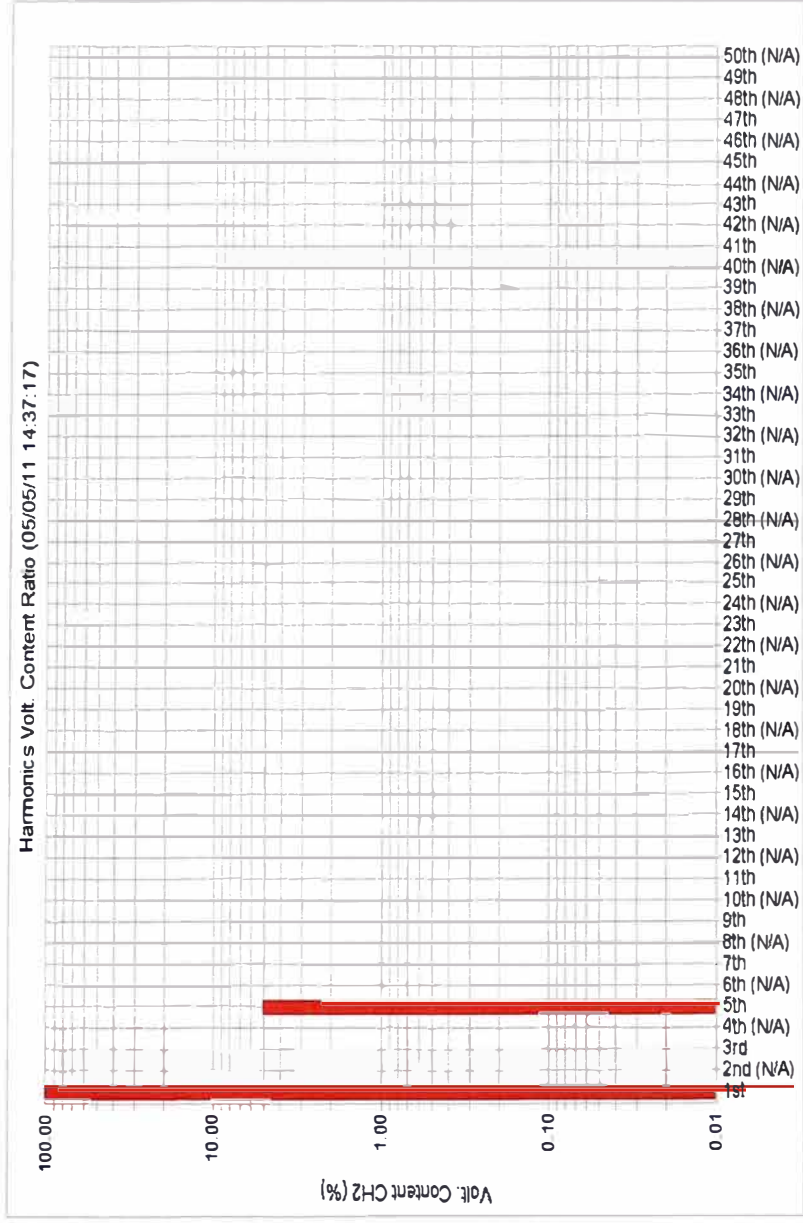


Fig. 3.11 Armónicos de Tensión individuales CH2 (THDV-CH2)

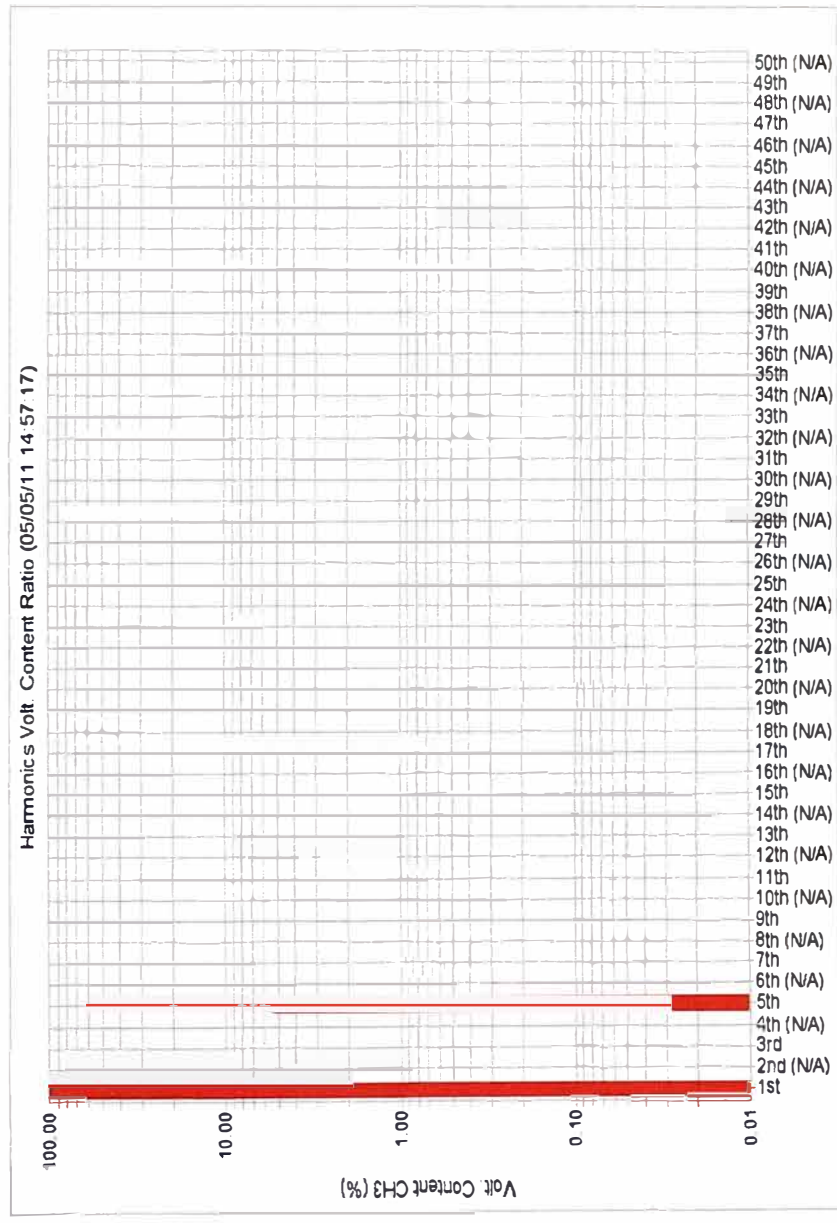


Fig. 3.12 Armónicos de Tensión individuales CH3 (THDV-CH3)



### 3.3.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.13 Demanda máxima de la celda de llegada

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
2690	1090	2940

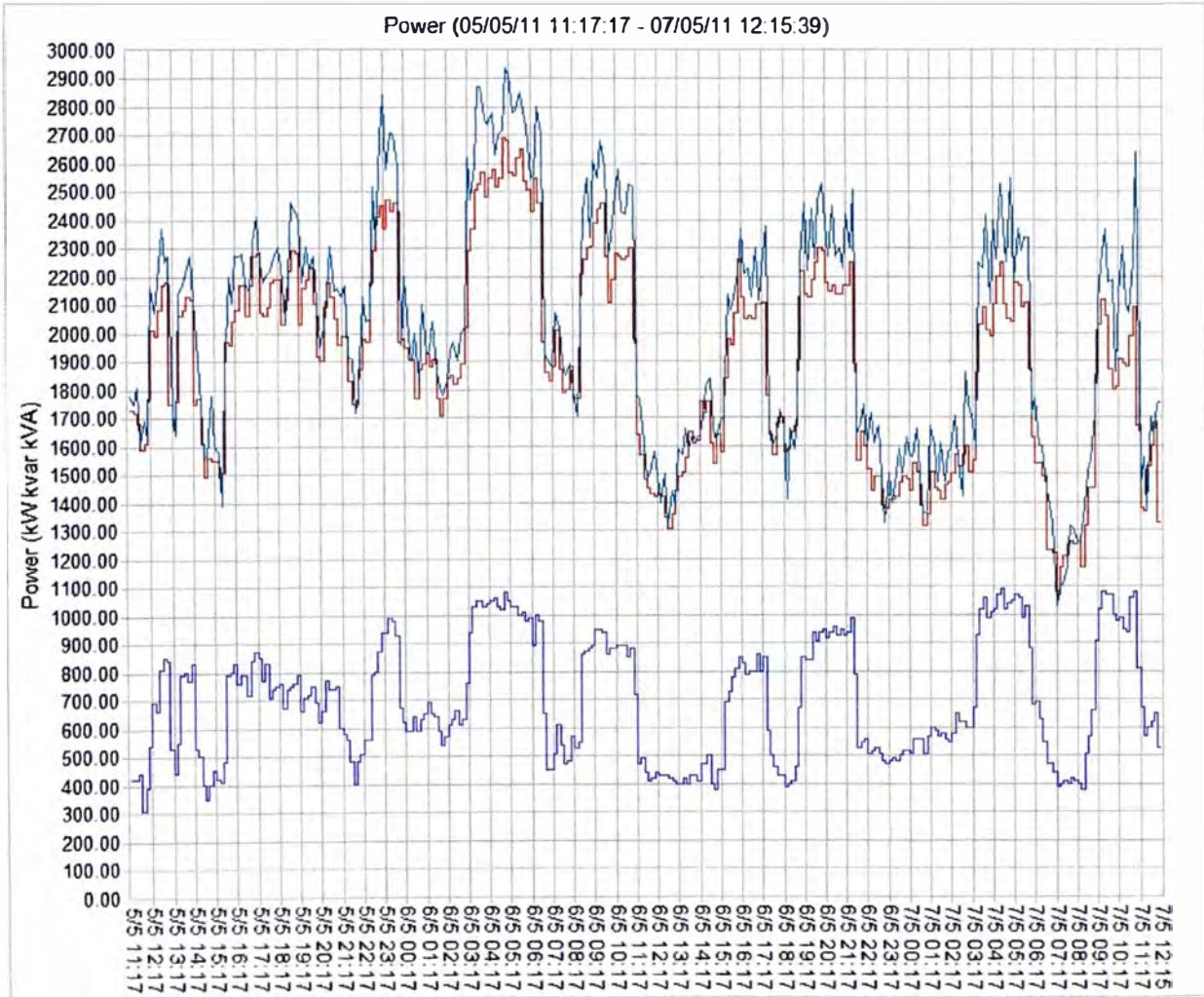


Fig. 3.13 Potencia aparente (verde), Activa (rojo), Reactiva (azul)

### 3.3.5 Datos de Factor de Potencia

Tabla 3.14 Factor de demanda de la celda de llegada

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
0.98	0.87	0.94

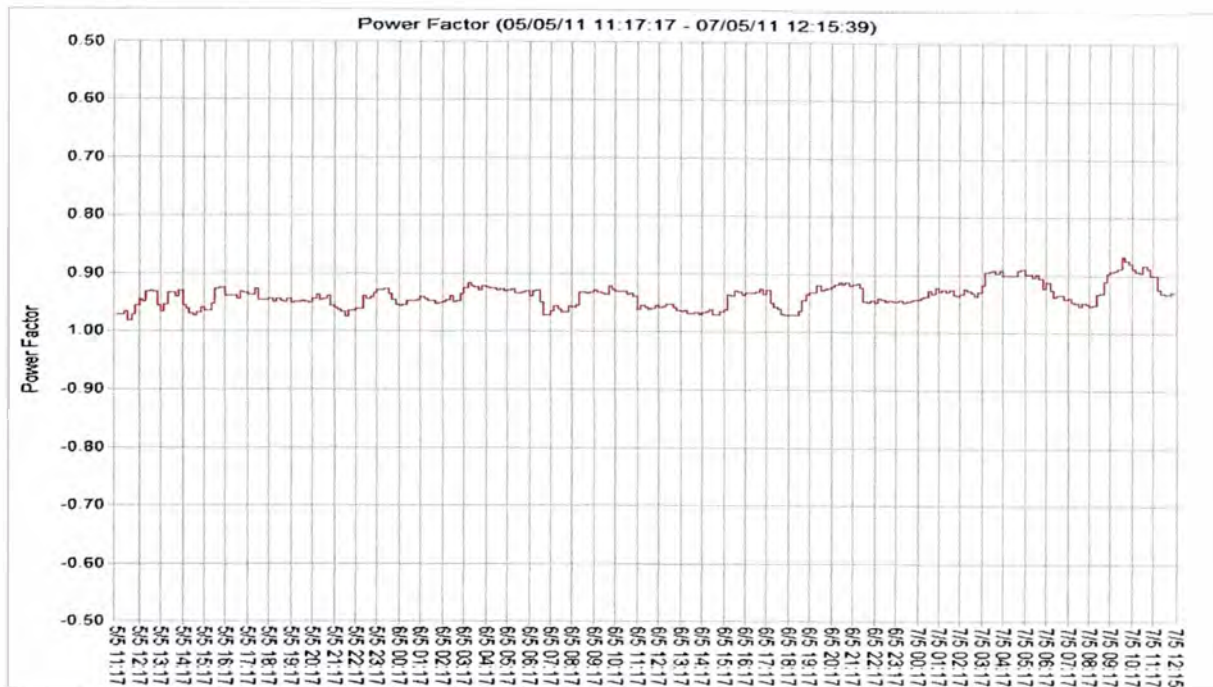


Fig. 3.14 Factor de Potencia.

### 3.3.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.15 Corrientes de la celda de llegada

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
<b>I(CH1)</b>	<b>174.1</b>	<b>119.95</b>
<b>I(CH2)</b>	<b>175.6</b>	<b>120</b>
<b>I(CH3)</b>	<b>167.3</b>	<b>114.8</b>

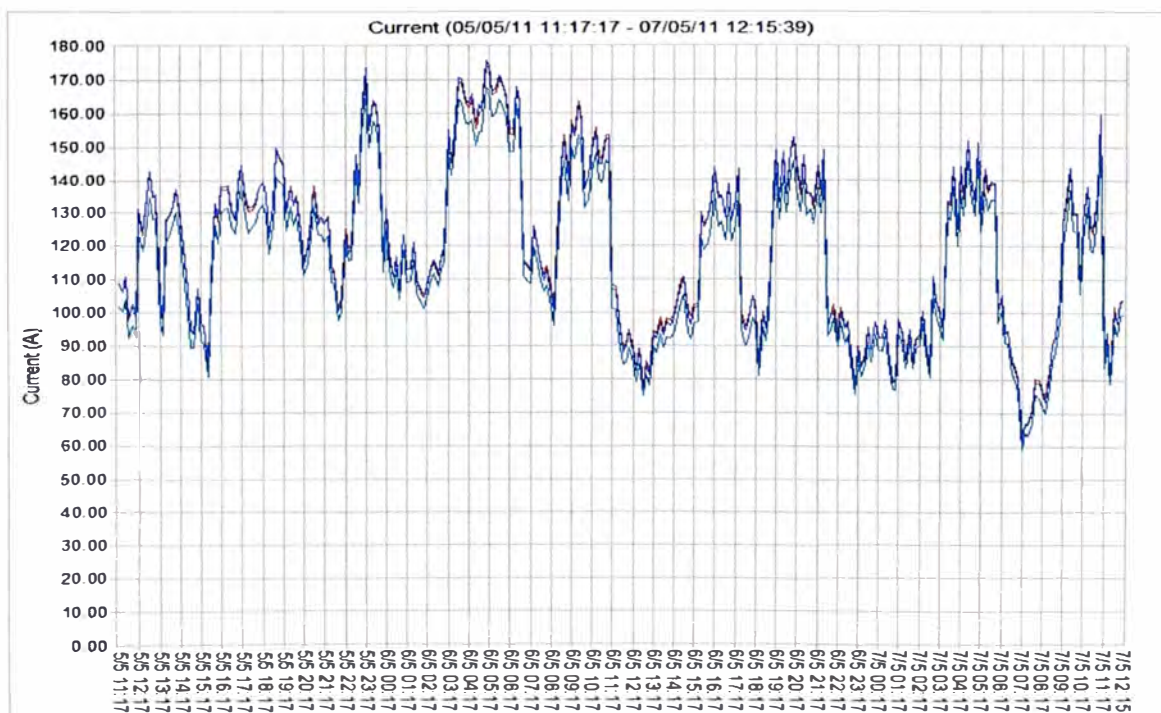
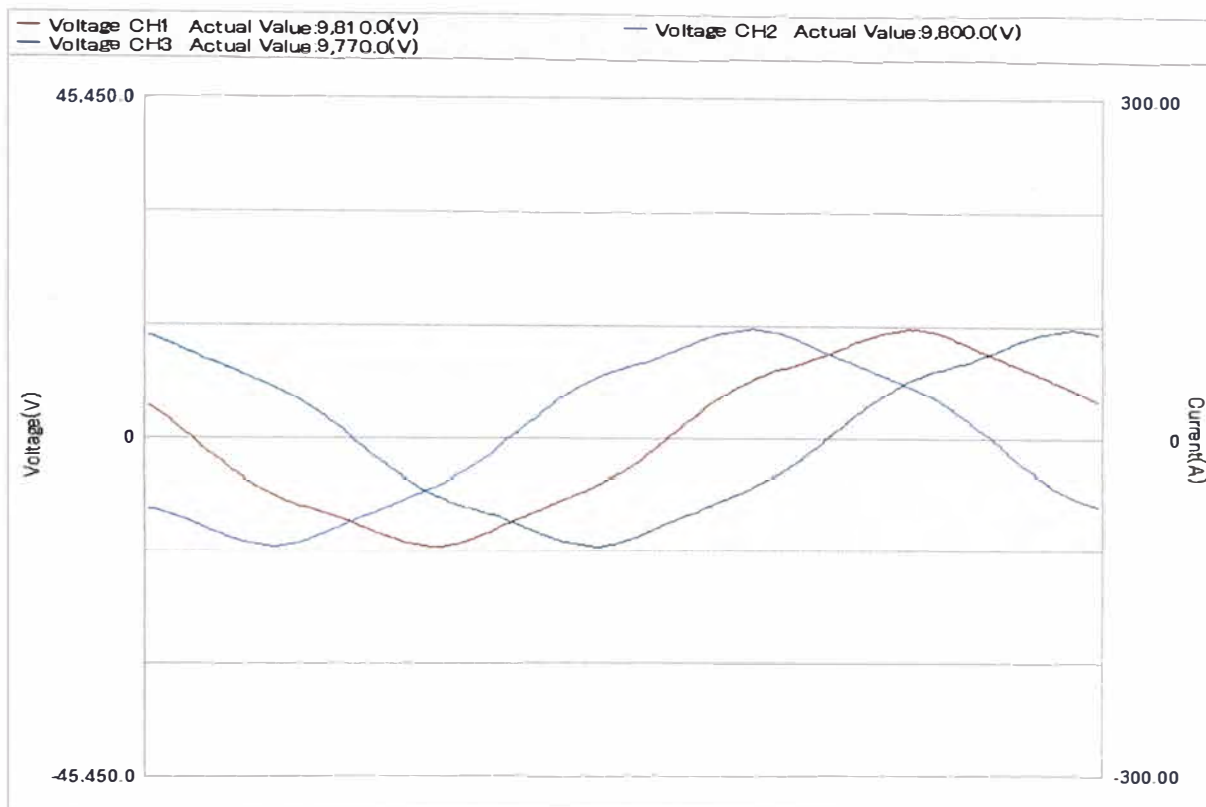
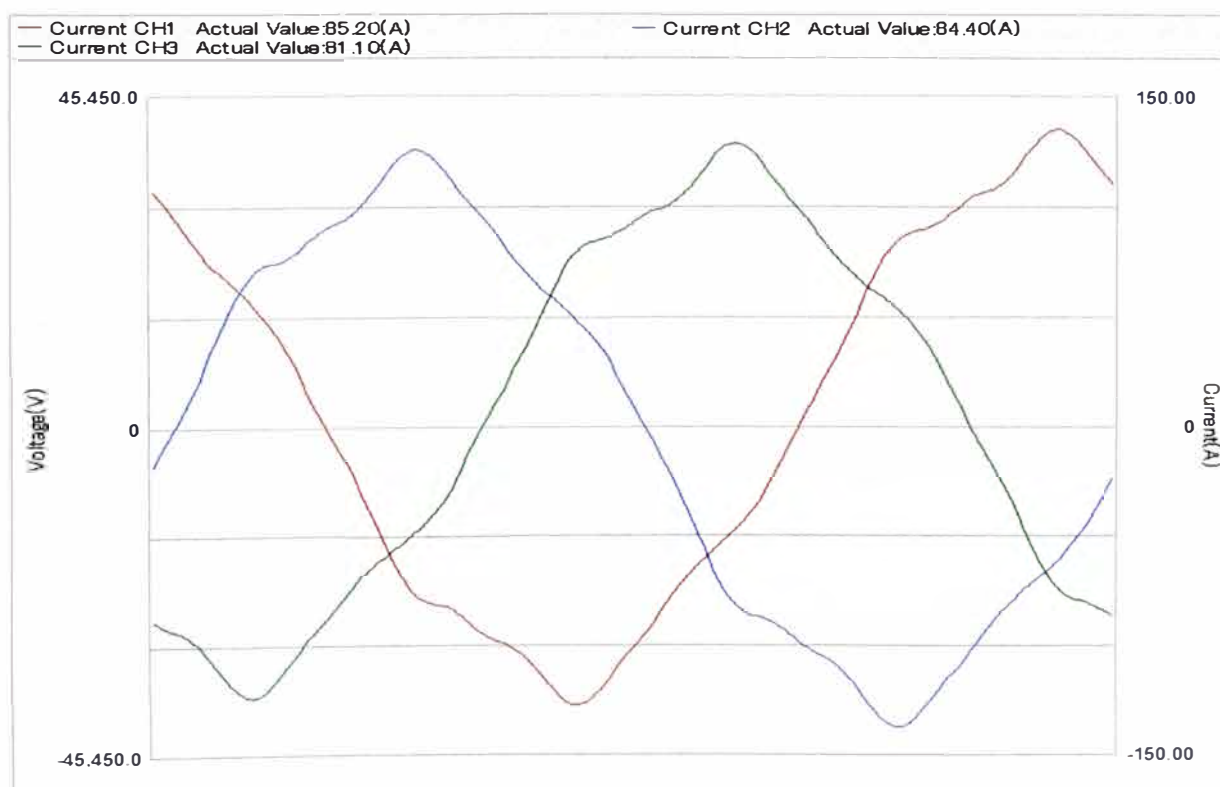


Fig. 3.15 Corriente ICH1 (rojo), ICH2 (azul), ICH3 (verde)

### 3.3.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.16** Formas de Onda de Tensión Distorsionada.



**Fig. 3.17** Formas de Onda de Corriente Distorsionada

### 3.4 Datos Registrados en la Subestación N°1

Tabla 3.16 Datos de la Subestación N°1

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
N°1	240V,3Ø,60Hz	-	SET_1

#### 3.4.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.17 Nivel de tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
<b>NTCSE (<math>\pm 5\%V_n</math>)</b>			252	228
V(L1-L2)	237	228	CUMPLE	CUMPLE
V(L2-L3)	237	228	CUMPLE	CUMPLE
V(L1-L3)	237	228	CUMPLE	CUMPLE

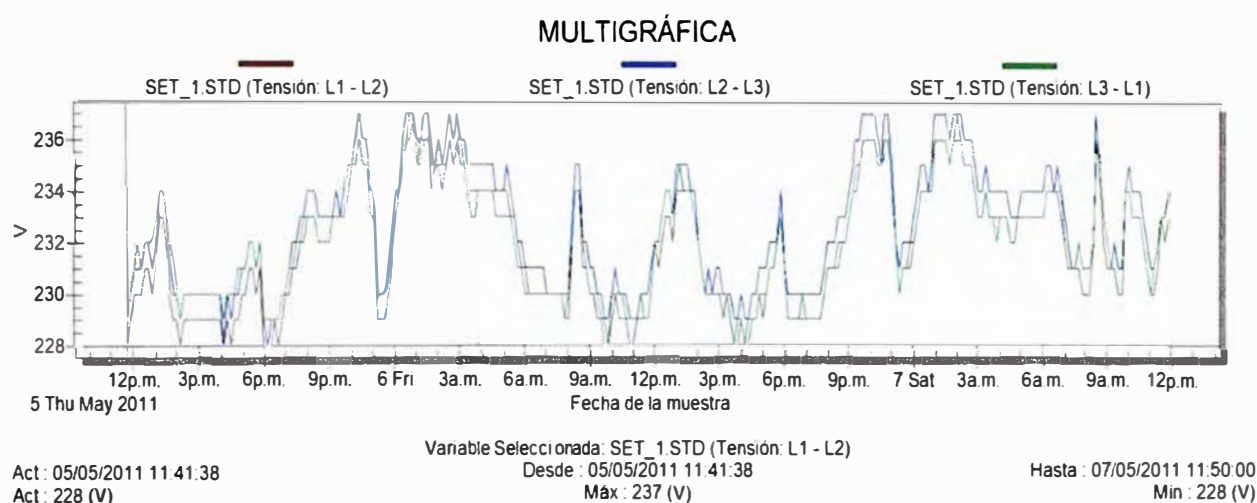


Fig. 3.18 Nivel de Tensión

#### 3.4.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.18 Frecuencia de la subestación 1

FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
<b>NTCSE (<math>\Delta f_k\%: \pm 0.6\%F_n</math>)</b>		60.36	59.64
60.3	59.57	CUMPLE	NO CUMPLE

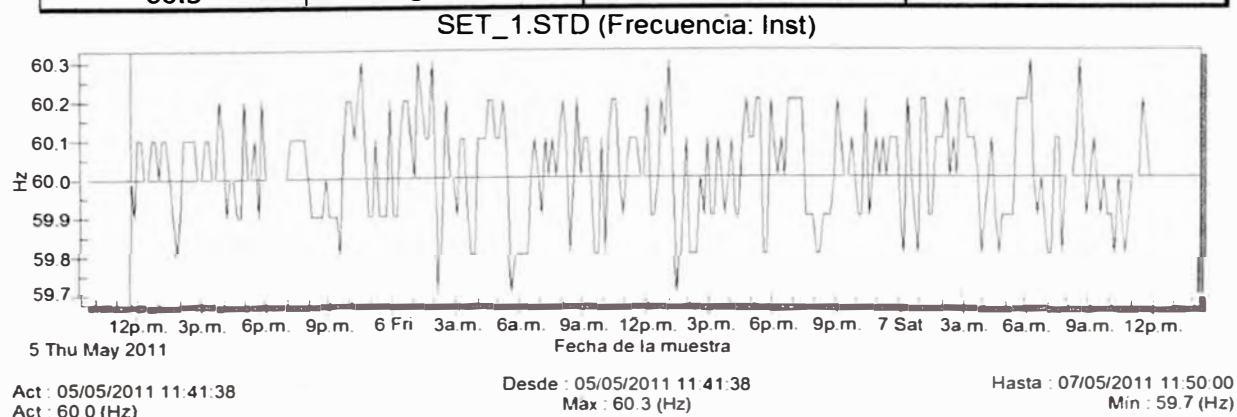


Fig. 3.19 Nivel de frecuencia.

### 3.4.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.19** Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>35kA</b>	<b>167.35</b>	<b>209</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.20** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(L1)	06/05/2011 05:50 a 06/05/2011 06:50	<b>12.6%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	06/05/2011 22:20 a 06/05/2011 23:20	<b>7.4%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	06/05/2011 22:20 a 06/05/2011 23:20	<b>5%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.21** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(L1)	06/05/2011 06:50	<b>14.91%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	06/05/2011 23:20	<b>14.11%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	06/05/2011 23:20	<b>10.26%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.22** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

#### B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)

**Tabla 3.23** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de
-------	---------	-----------------	-----------------------------------

			duración)
<b>IEEE 519</b>			
			<b>5%</b>
I(L1)	05/05/2011 14:50 a 05/05/2011 15:50	<b>5.1%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	05/05/2011 14:50 a 05/05/2011 15:50	<b>4.9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	05/05/2011 14:40 a 05/05/2011 15:40	<b>4.7%</b>	<b>CUMPLE</b>

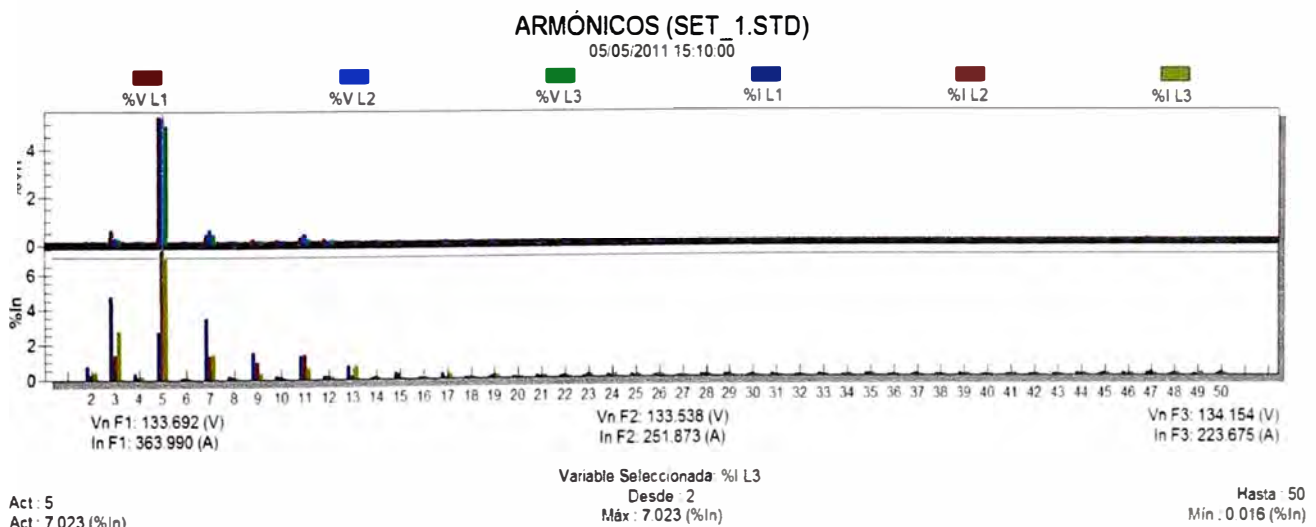
**Tabla 3.24** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(L1)	05/05/2011 15:50	<b>5.26%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	05/05/2011 15:50	<b>5.09%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	05/05/2011 14:47	<b>4.84%</b>	<b>CUMPLE</b>

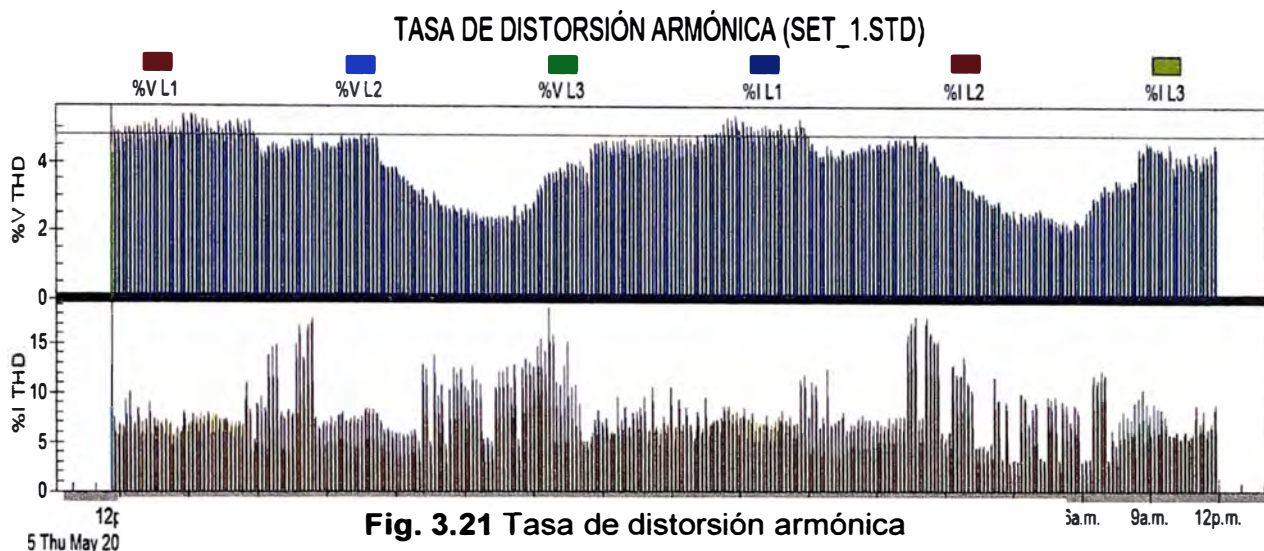
**Tabla 3.25** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN	3 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>	3%	3%	3%	3%	3%
<b>L1</b>	05/05/2011 15:10 4.74%	2.66%	3.43%	0%	0%
<b>L2</b>	05/05/2011 15:10 1.34%	7.35%	1.3%	0%	0%
<b>L3</b>	05/05/2011 15:10 2.75%	7.02%	1.3%	0%	0%
	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



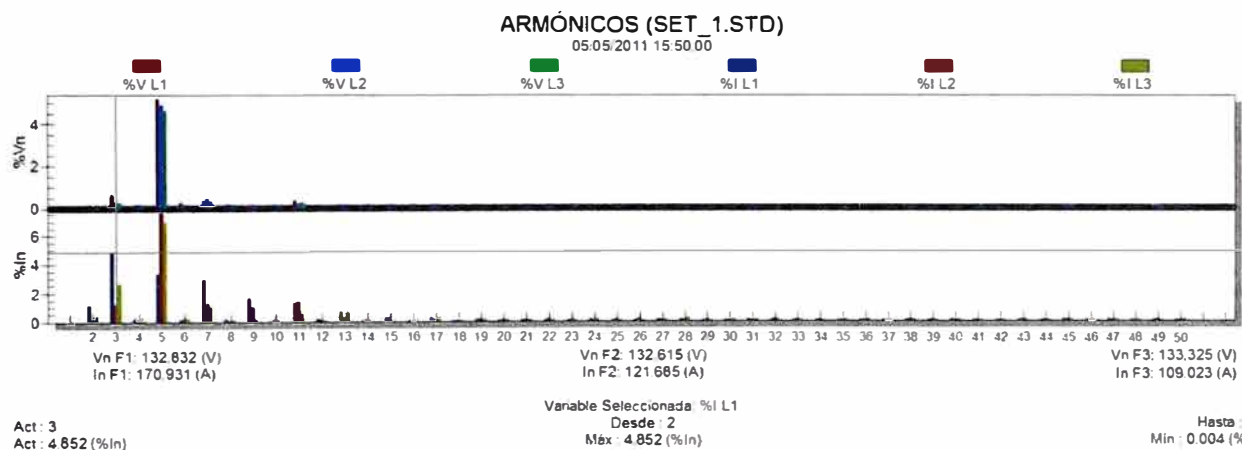
**Fig. 3.20** Niveles de armónicos



Act: 05/05/2011 11:41:38  
Act: 4.8 (%V THD)

Variable Seleccionada: %V L1  
Desde: 05/05/2011 11:41:38  
Máx: 5.4 (%V THD)

Hasta: 07/05/2011 11:50:00  
Mín: 2.1 (%V THD)

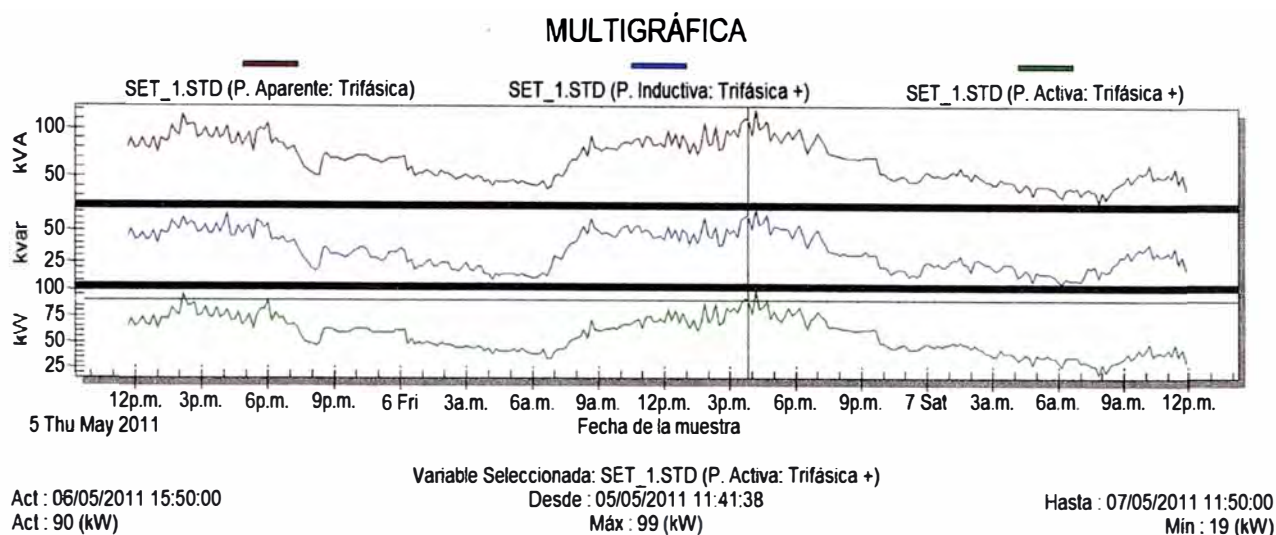


**Fig. 3.22 Gráfica de los armónicos**

### 3.4.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

**Tabla 3.26 Demanda máxima Subestación N°1**

<b>POTENCIA ACTIVA (kW)</b>	<b>POTENCIA REACTIVA (kVAR)</b>	<b>POTENCIA APARENTE (kVA)</b>
<b>99</b>	<b>67</b>	<b>119</b>

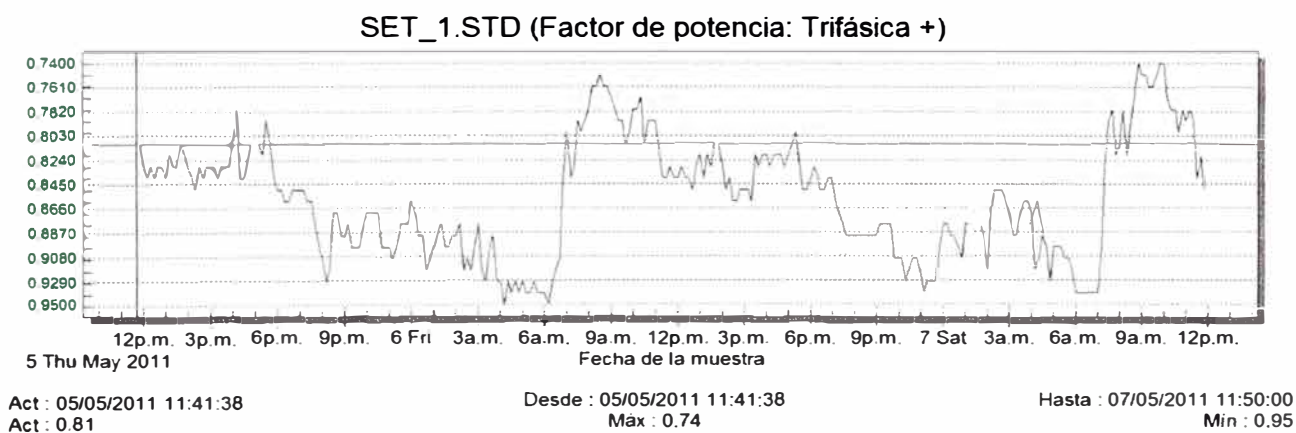


**Fig. 3.23 Multigráfica de Potencias**

### 3.4.5 Datos de Factor de Potencia.

**Tabla 3.27 Factor de potencia de la Subestación N°1**

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
<b>0.95</b>	<b>0.74</b>	<b>0.86</b>



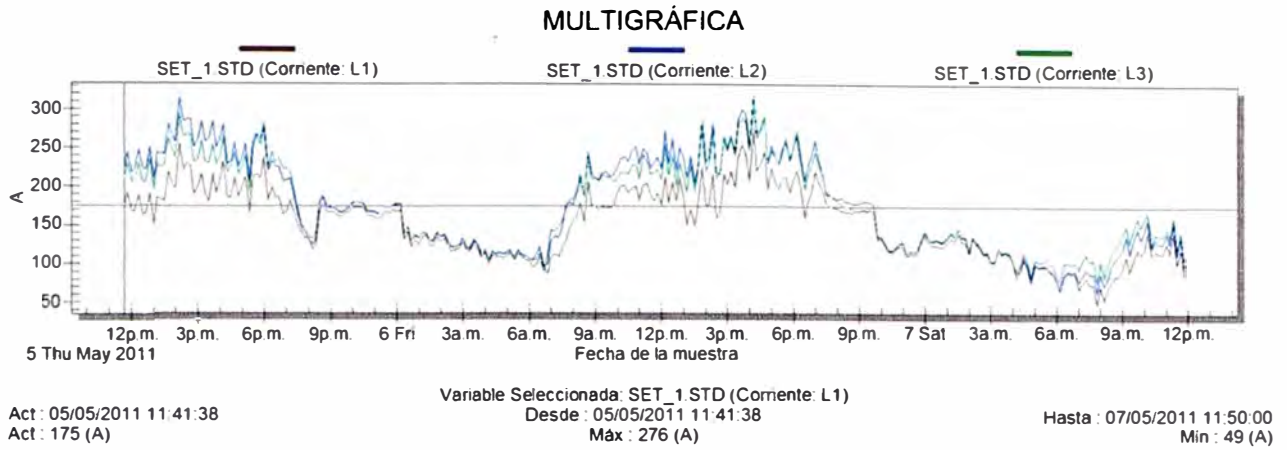
**Fig. 3.24 Gráfica de Factor de Potencia.**

### 3.4.6 Datos de Corriente.

**Tabla 3.28 Corrientes máximas y corrientes promedios**

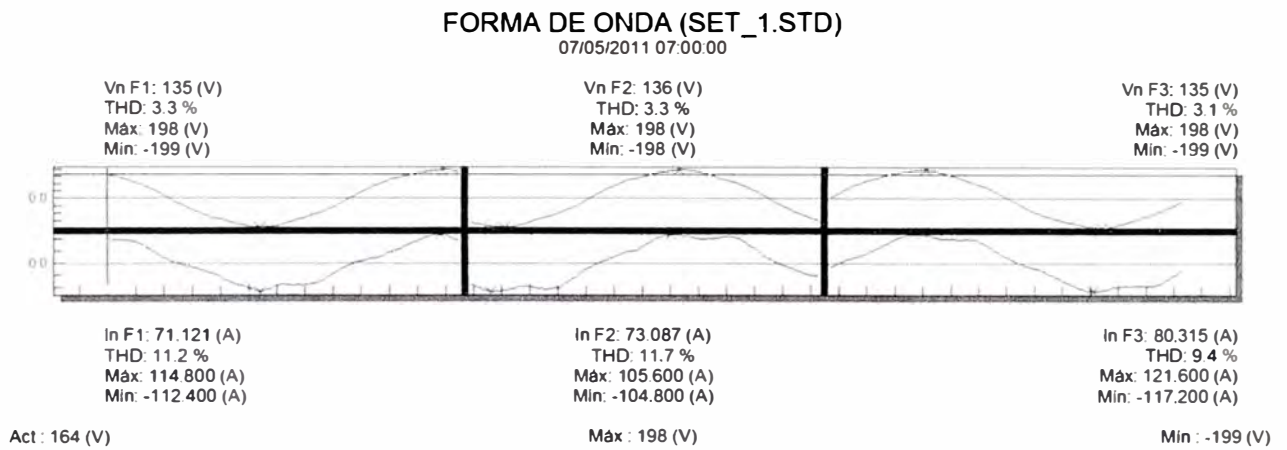
FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
<b>L1</b>	<b>276</b>	<b>152.36</b>
<b>L2</b>	<b>320</b>	<b>175.88</b>
<b>L3</b>	<b>315</b>	<b>173.83</b>



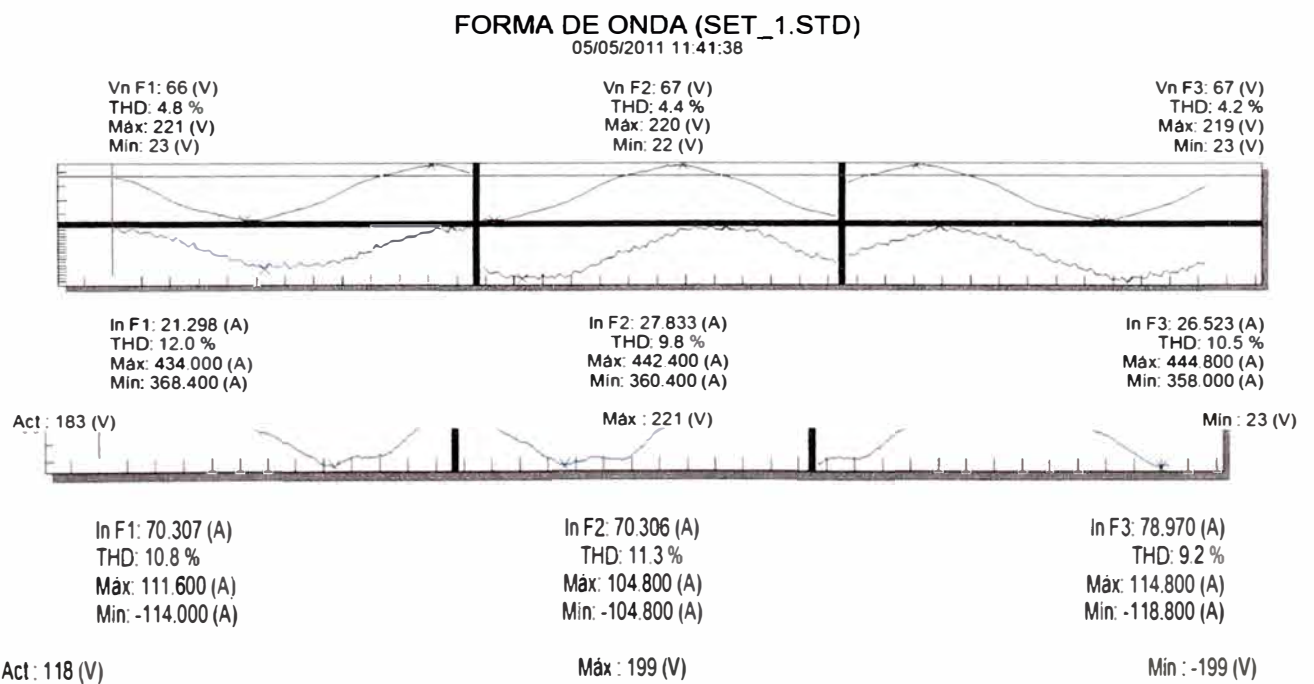


**Fig. 3.25** Gráfica de Corrientes.

**3.4.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.**



**Fig. 3.26** Gráfica de la forma de onda a las 7.00am.



**Fig. 3.27** Gráfica de la forma de onda a las 6.40am.

## FORMA DE ONDA (SET\_1.STD)

05/05/2011 19:50:00

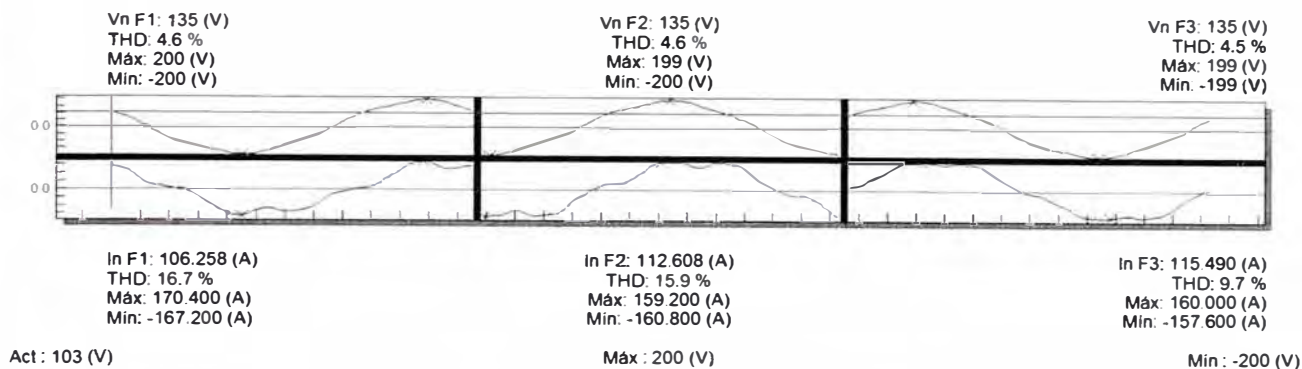


Fig. 3.28 Gráfica de Ondas de Tensiones y Corrientes distorsionadas.

## 3.5 Datos Registrados en la Subestación N° 2 (Transformador 1)

Tabla 3.29 Datos de la subestación 2

Subestación	Sistema	ITM	Transformador	Código de Medición
N°2	240V,3Ø ,60Hz	Westinhou e-2500A	Marca: Brown Boveri Canepa Tabini S.A. Serie: L 13859 Tensión: 10/0.24kV Potencia:800kVA Grupo conexión: Yd11	SE_2_T1

## 3.5.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.30 Nivel de tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
NTCSE ( $\pm 5\%V_n$ )			252	228
V(L1-L2)	236	0	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L2-L3)	235	0	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L1-L3)	236	0	CUMPLE	NO CUMPLE

## MULTIGRÁFICA

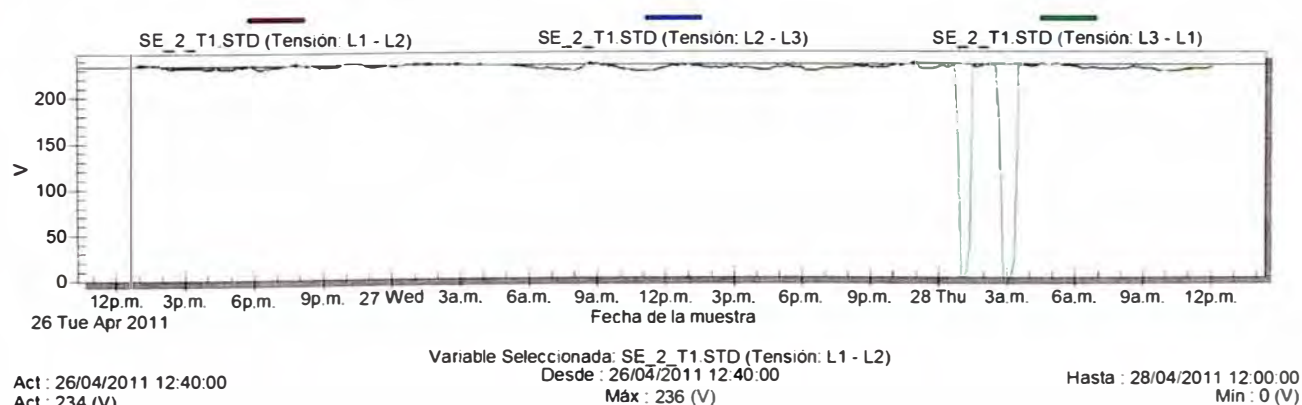


Fig. 3.29 Nivel de Tensión

### 3.5.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.31 Niveles de frecuencia

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
NTCSE (Afk%: $\pm 0.6\%Fn$ )			60.36	59.64
-	60.6	59.8	NO CUMPLE	CUMPLE

SE\_2\_T1.STD (Frecuencia: Inst)

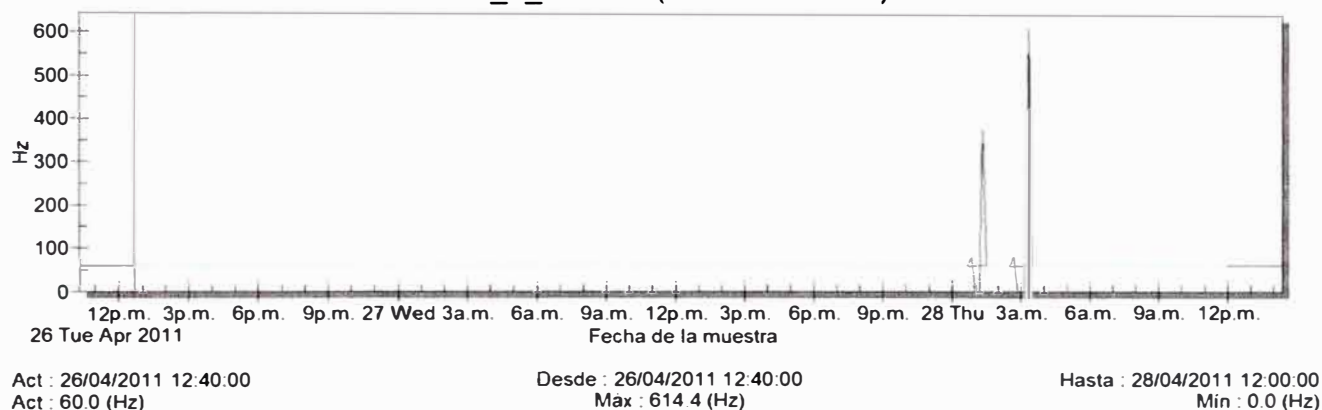


Fig. 3.30 Nivel de Frecuencia

### 3.5.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

Tabla 3.32 Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>63kA</b>	<b>663.52</b>	<b>94.94</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

Tabla 3.33 Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>12%</b>
I(L1)	26/04/2011 12:40 a 26/04/2011 13:40	<b>17.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	26/04/2011 12:40 a 26/04/2011 13:40	<b>16.8%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	26/04/2011 12:40 a 26/04/2011 13:40	<b>17%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.34** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>18%</b>
I(L1)	26/04/2011 12:40	<b>98.6%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	26/04/2011 12:40	<b>99.9%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	26/04/2011 12:40	<b>98.1%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.35** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7
	<b>NO CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

## B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)

**Tabla 3.36** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(L1)	05/05/2011 14:50 a 05/05/2011 15:50	<b>6.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	05/05/2011 14:50 a 05/05/2011 15:50	<b>6.6%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	05/05/2011 14:40 a 05/05/2011 15:40	<b>6.9%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.37** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

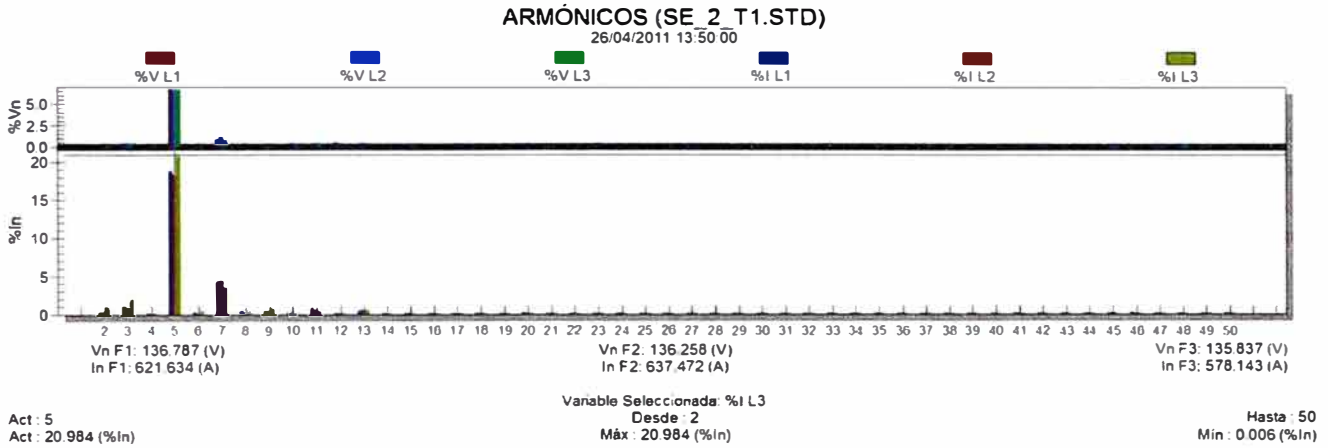
FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(L1)	27/04/2011 14:40	<b>7.5%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	27/04/2011 14:40	<b>7.4%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	27/04/2011 14:40	<b>7.5%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.38** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

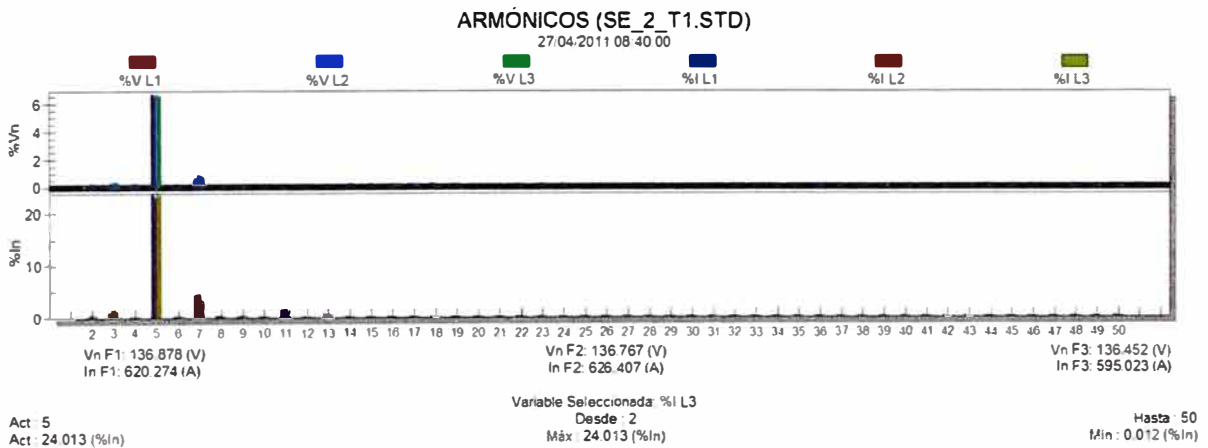
ORDEN	3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGUN IEEE 519</b>	3%	3%	3%	3%	3%

<b>L1</b>	26/04/2011 17:20	0%	6.98%	0.84%	0%	0%
<b>L2</b>	26/04/2011 17:20	0%	6.72%	1.0%	0%	0%
<b>L3</b>	26/04/2011 17:20	0%	6.9%	0.84%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

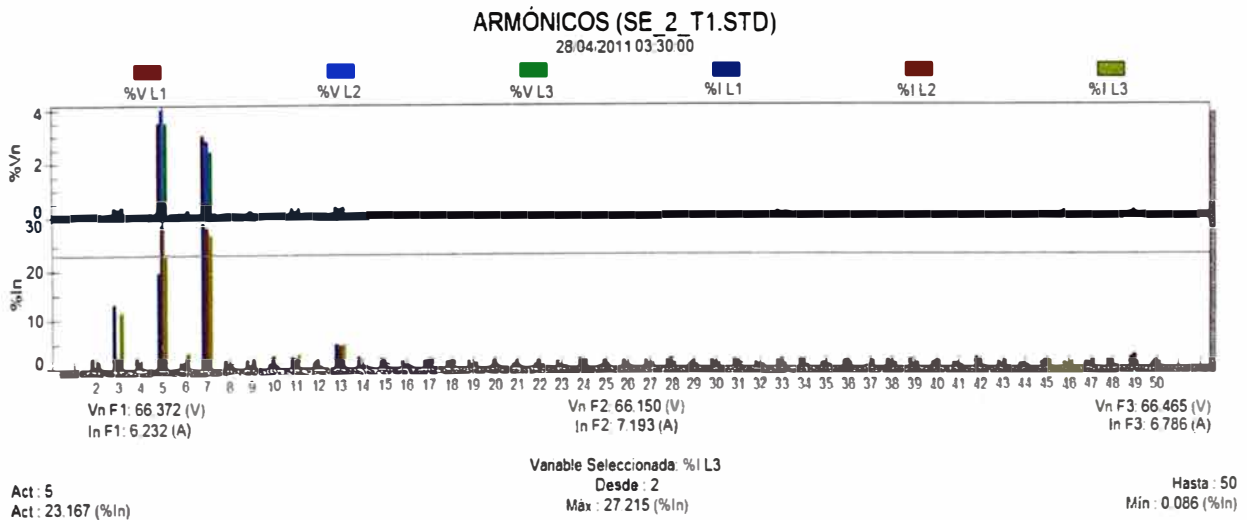
NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3.31 Niveles de Armónicos a las 13:50 pm.**



**Fig. 3.32 Niveles de Armónicos a las 08:40 am.**



**Fig. 3.33 Niveles de Armónicos a las 03:30 pm.**

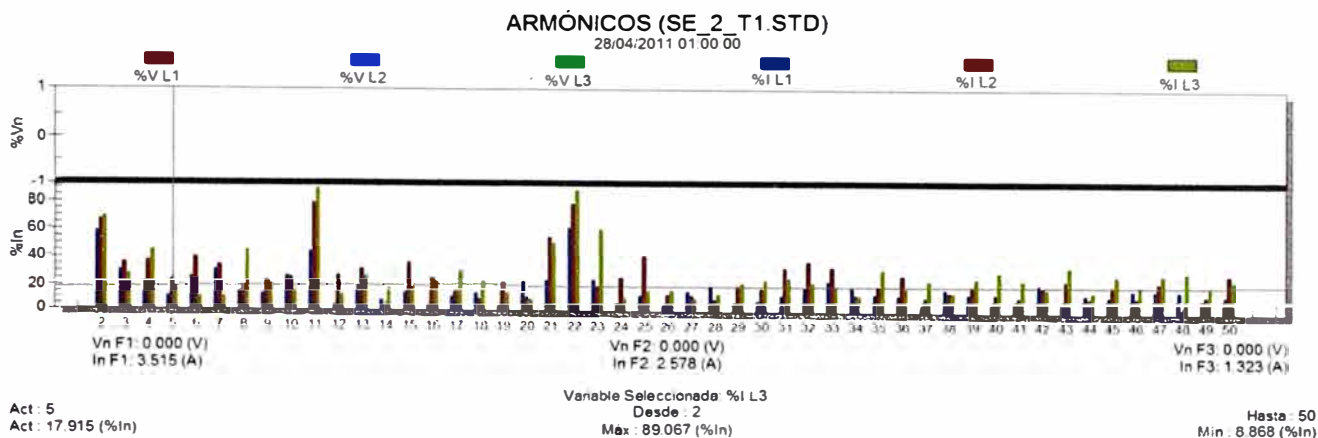


Fig. 3.34 Niveles de Armónicos a las 01:00 am.

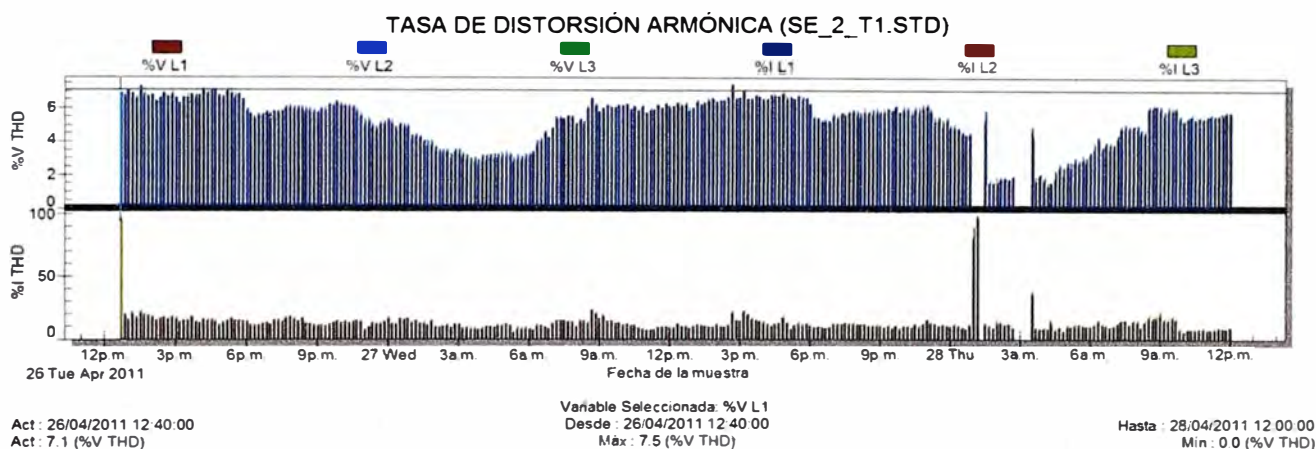


Fig. 3.35 Gráfica de la distorsión Armónica de tensión y Corriente.

### 3.5.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.39 Demanda máxima de la subestación 2

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
442	134	461

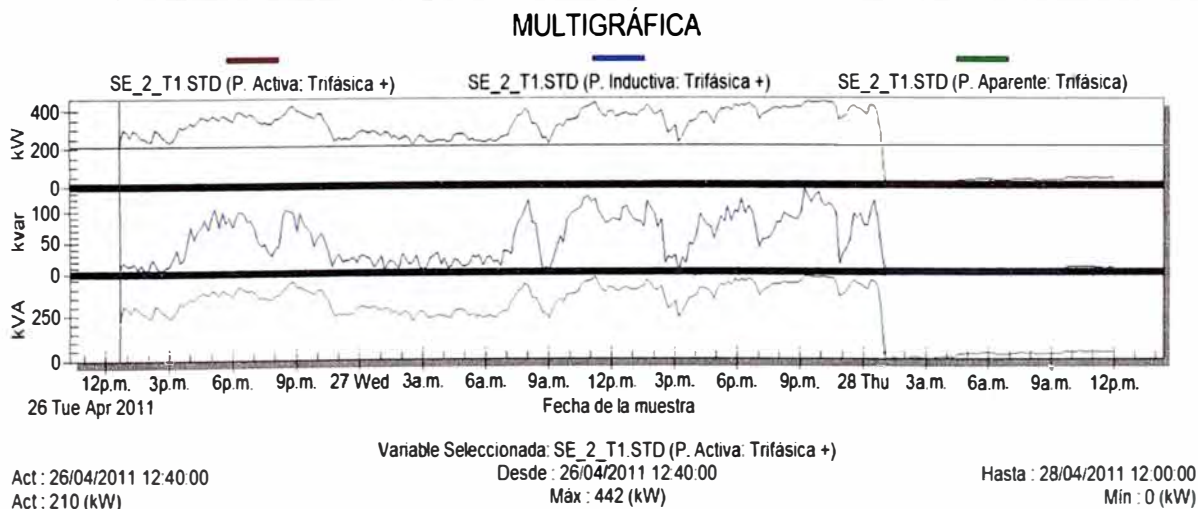


Fig. 3.36 Diagrama de Potencias.

### 3.5.5 Datos de Factor de Potencia.

Tabla 3.40 Factor de potencia de la subestación 2

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
-0.98	0	0.92

SE\_2\_T1.STD (Factor de potencia: Trifásica +)

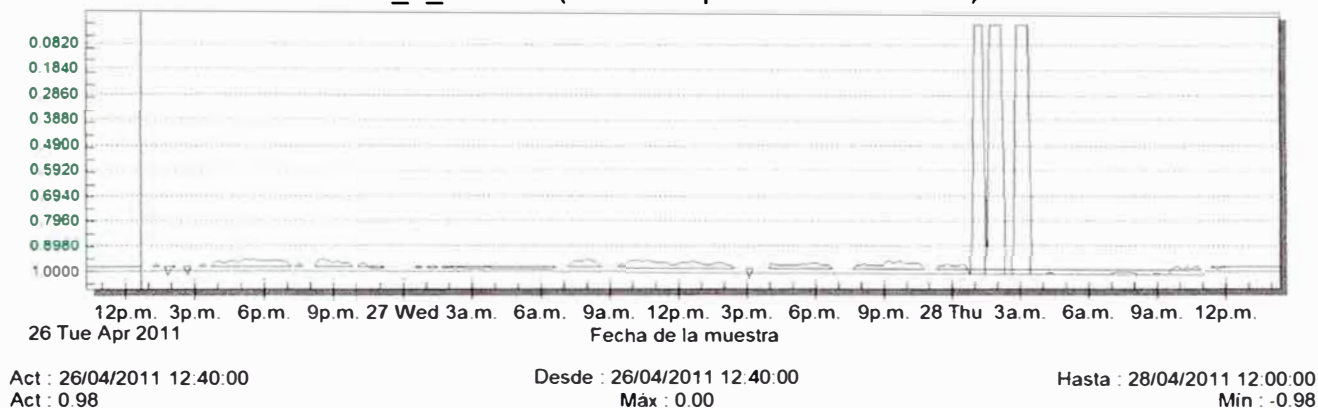


Fig. 3.37 Factor de Potencia.

### 3.5.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.41 Corrientes máximas y corrientes promedios de la subestación 2

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
L1	1152	662.88
L2	1203	692.17
L3	1111	635.1

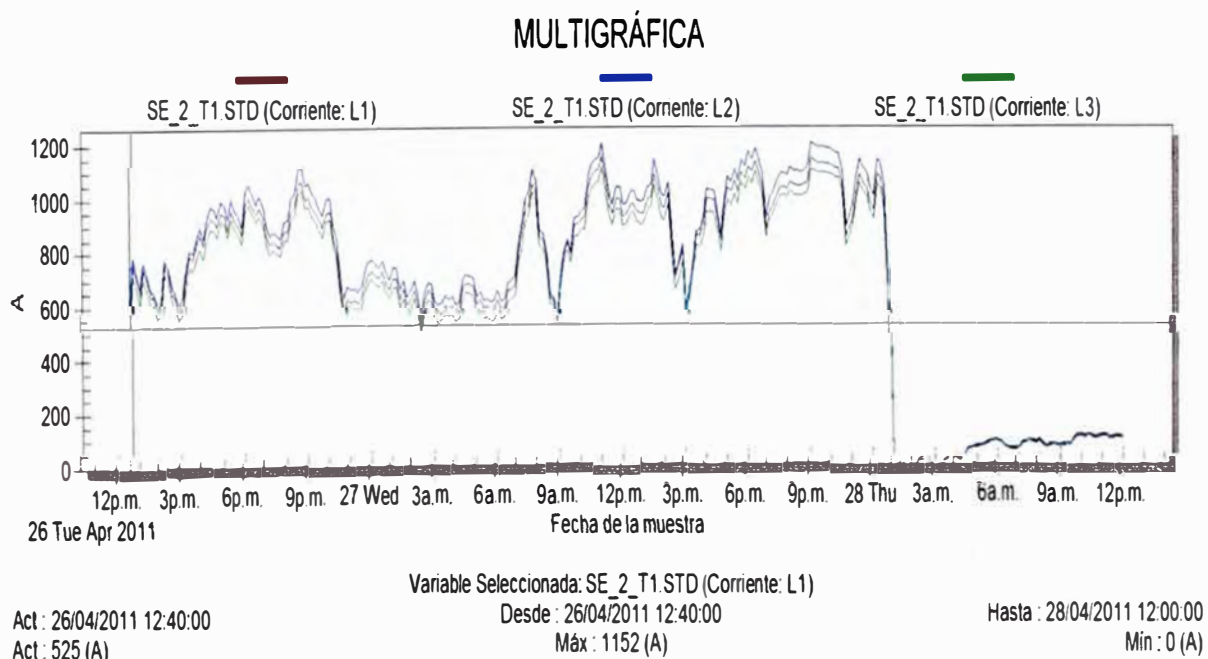
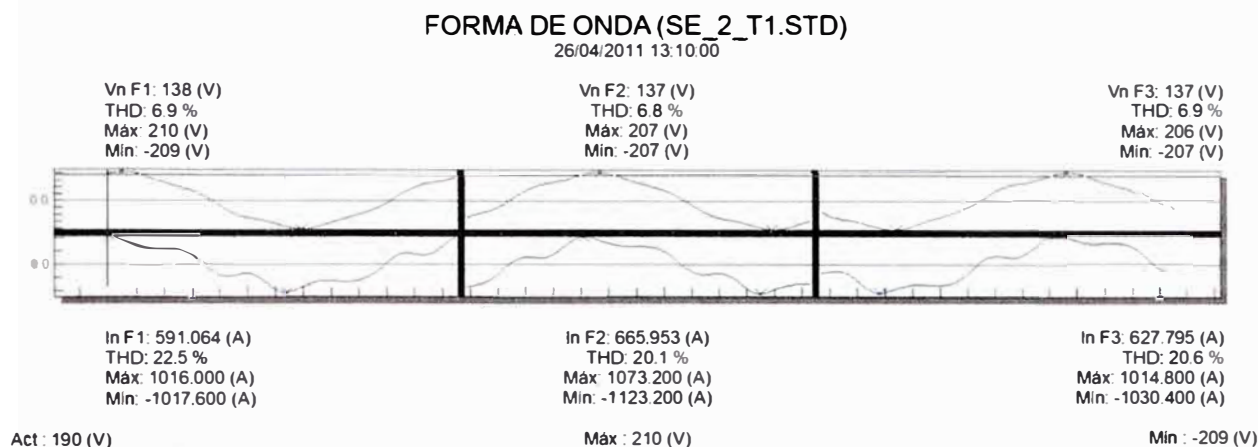
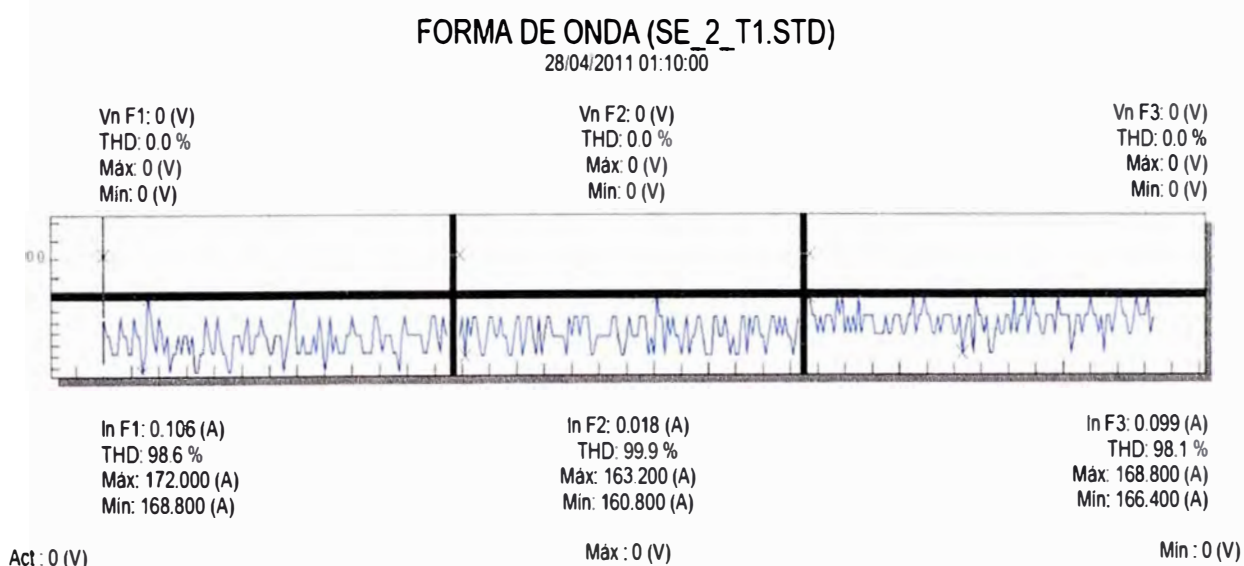


Fig. 3.38 Corrientes por fases.

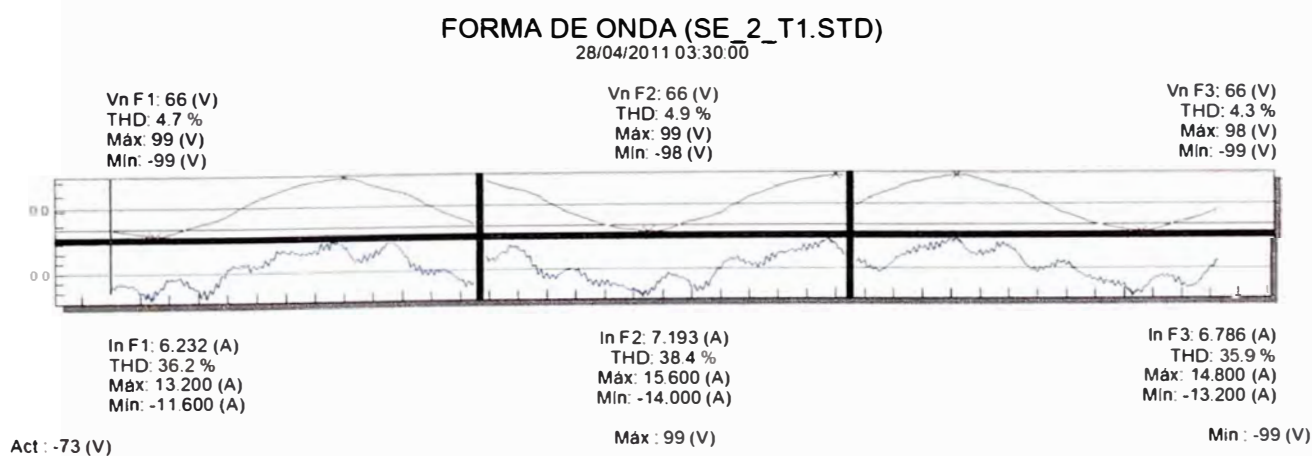
### 3.5.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.39** Forma de onda a las 12:40 pm.



**Fig. 3.40** Forma de onda a las 13:10 pm.



**Fig. 3.41** Formas de Onda de Tensión y Corriente Distorsionadas



### 3.6 Datos Registrados en la Subestación N° 2 (Transformador 2)

Tabla 3.42 Datos de la subestación N°2

Subestación	Sistema	ITM	Transformador	Código de Medición
N°2	220V,3Ø ,60Hz	SIEMENS 2000A	Marca: BBC Tensión: 10/0.24kV Potencia:800kVA Grupo conexión: Yd11	SE_2_T2

#### 3.6.1 Datos de Tensión (según Norma NTCSE)

Tabla 3.43 Nivel de tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
<b>NTCSE (<math>\pm 5\%V_n</math>)</b>			252	228
V(L1-L2)	237	226	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L2-L3)	236	225	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L1-L3)	237	225	CUMPLE	NO CUMPLE

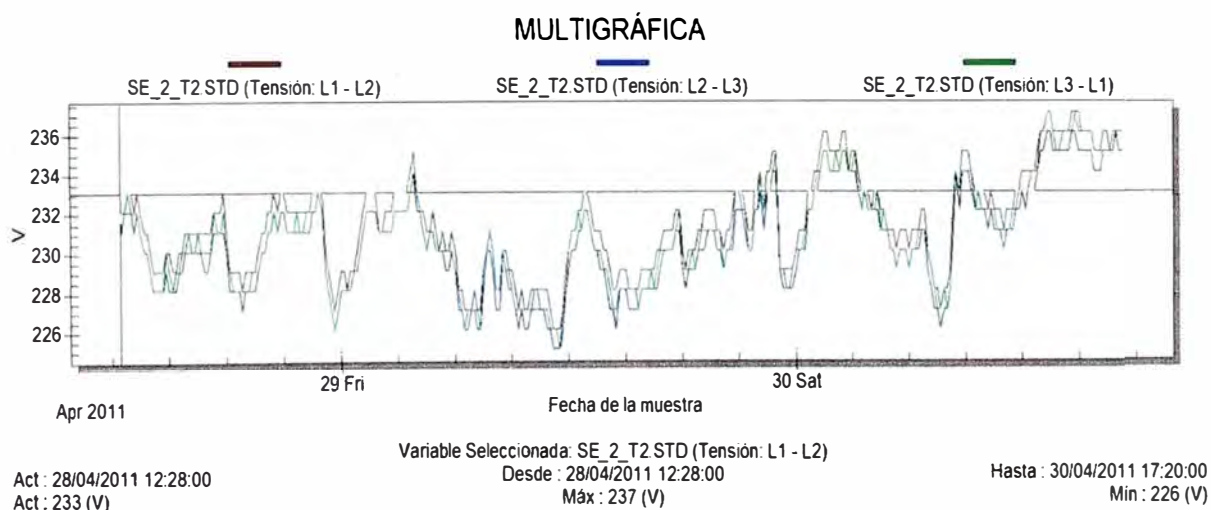
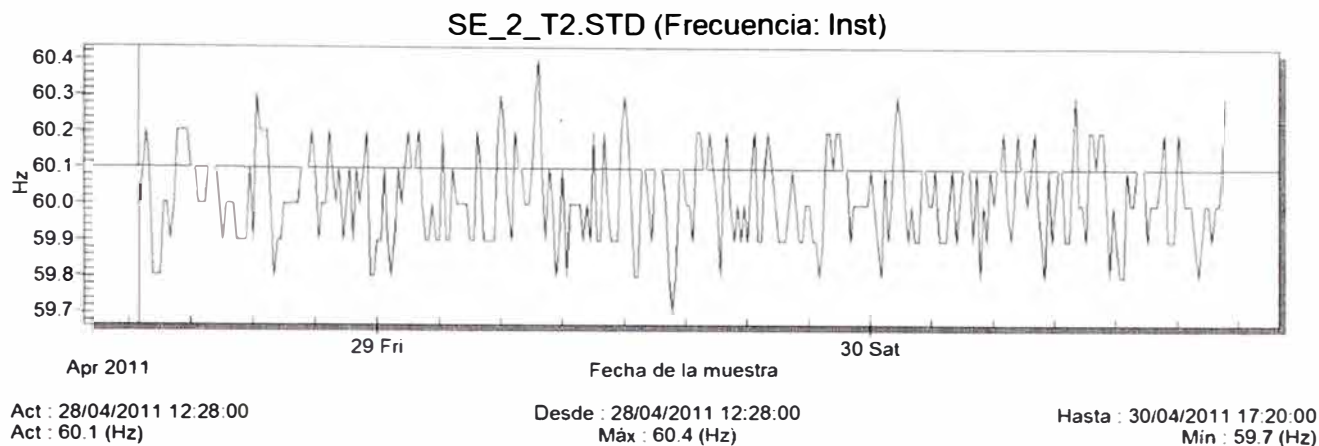


Fig. 3.42 Nivel de Tensión

#### 3.6.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.44 Nivel de Frecuencia

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
<b>NTCSE (<math>\Delta f_k\%: \pm 0.6\%F_n</math>)</b>			60.36	59.64
-	60.4	59.7	NO CUMPLE	CUMPLE



**Fig. 3.43** Variaciones de la Frecuencia.

### 3.6.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.45** lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>987.4</b>	<b>65.82</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.46** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>12%</b>
I(L1)	30/04/2011 16:00 a 30/04/2011 17:00	<b>19.2%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	30/04/2011 16:00 a 30/04/2011 17:00	<b>19.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	30/04/2011 16:00 a 30/04/2011 17:00	<b>21.3%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.47** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>18%</b>
I(L1)	30/04/2011 16:40	<b>26.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	30/04/2011 16:40	<b>27%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	30/04/2011 16:40	<b>28.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.48** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

**B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSION (THDV%)**

**Tabla 3.49** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(L1)	28/04/2011 16:40 a 28/04/2011 16:40	<b>6.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L2)	28/04/2011 16:40 a 28/04/2011 16:40	<b>6.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(L3)	28/04/2011 16:40 a 28/04/2011 16:40	<b>6.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

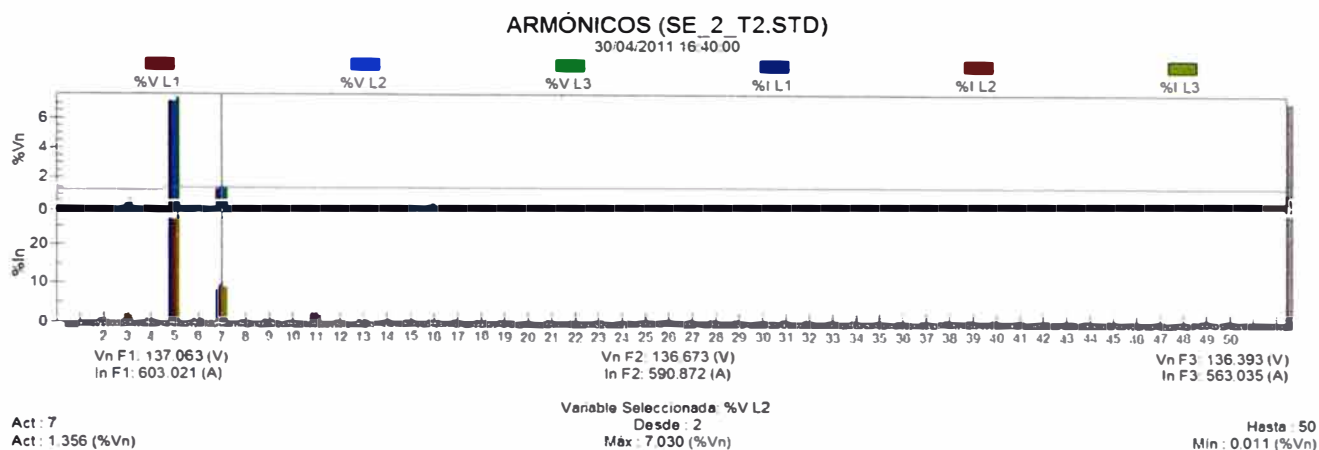
**Tabla 3.50** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(L1)	30/04/2011 16:40	<b>7.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	30/04/2011 16:40	<b>7.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	30/04/2011 16:40	<b>7.4%</b>	<b>CUMPLE</b>

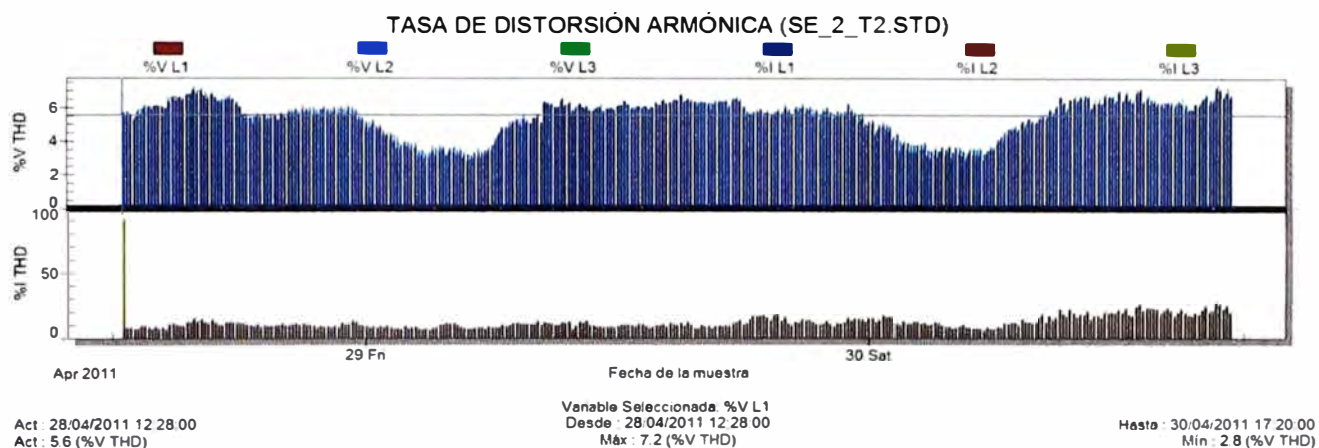
**Tabla 3.51** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>L1</b>	26/04/2011 17:20	0%	7.1%	0%	0%	0%
<b>L2</b>	26/04/2011 17:20	0%	7.0%	0%	0%	0%
<b>L3</b>	26/04/2011 17:20	0%	7.2%	0%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3.44 Armónicos individuales**

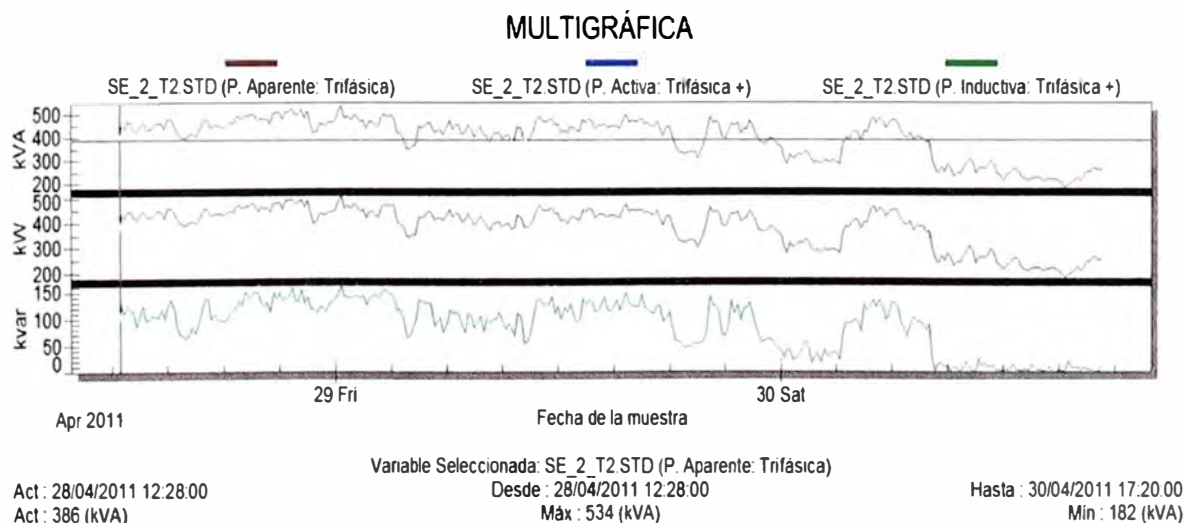


**Fig. 3.45 Gráfica de la distorsión armónica de tensión y corriente.**

**3.6.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)**

**Tabla 3.52 Demandas máximas de las potencias**

<b>POTENCIA ACTIVA (kW)</b>	<b>POTENCIA REACTIVA (kVAR)</b>	<b>POTENCIA APARENTE (kVA)</b>
<b>507</b>	<b>161</b>	<b>534</b>

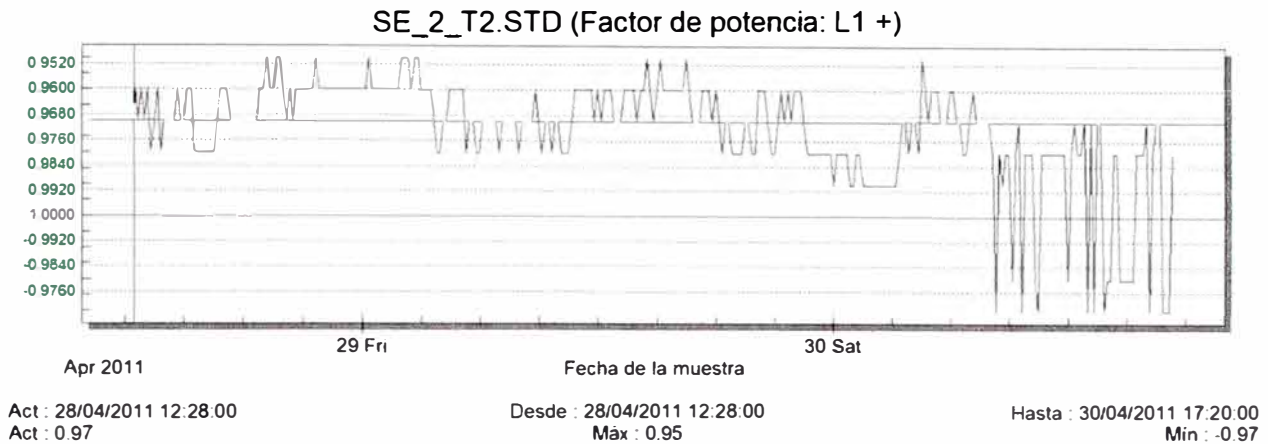


**Fig. 3.46 Diagrama de carga.**

### 3.6.5 Datos de Factor de Potencia.

**Tabla 3.53** Niveles de frecuencia

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
<b>0.95</b>	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>

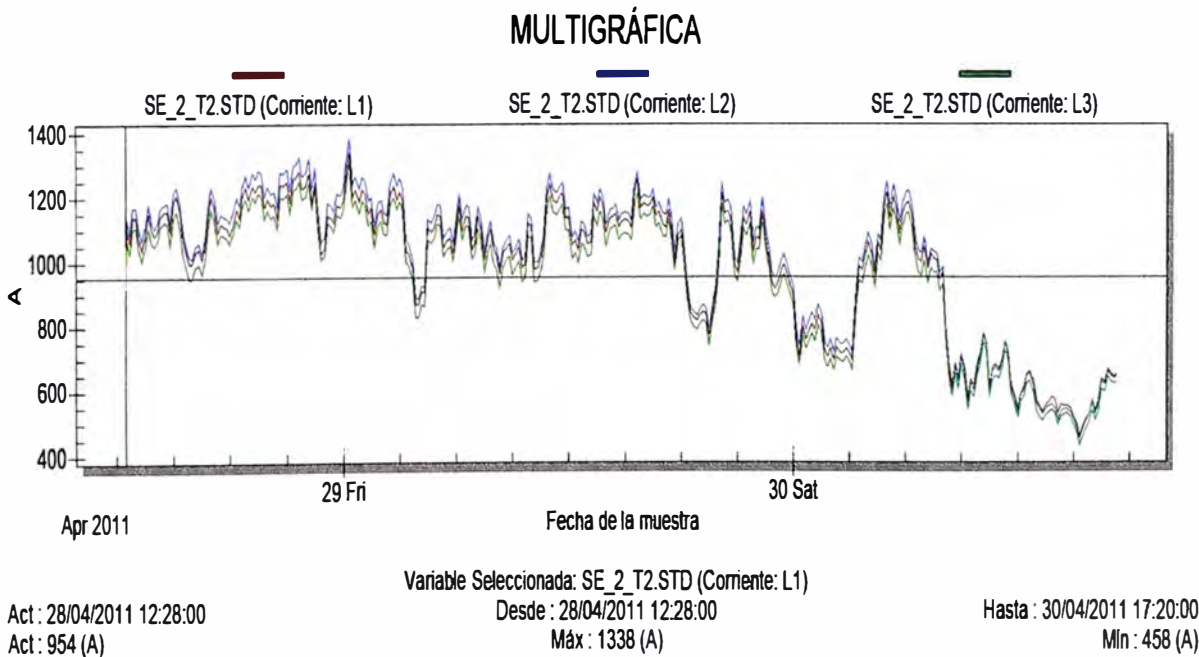


**Fig. 3.47** Factor de potencia

### 3.6.6 Datos de Corriente.

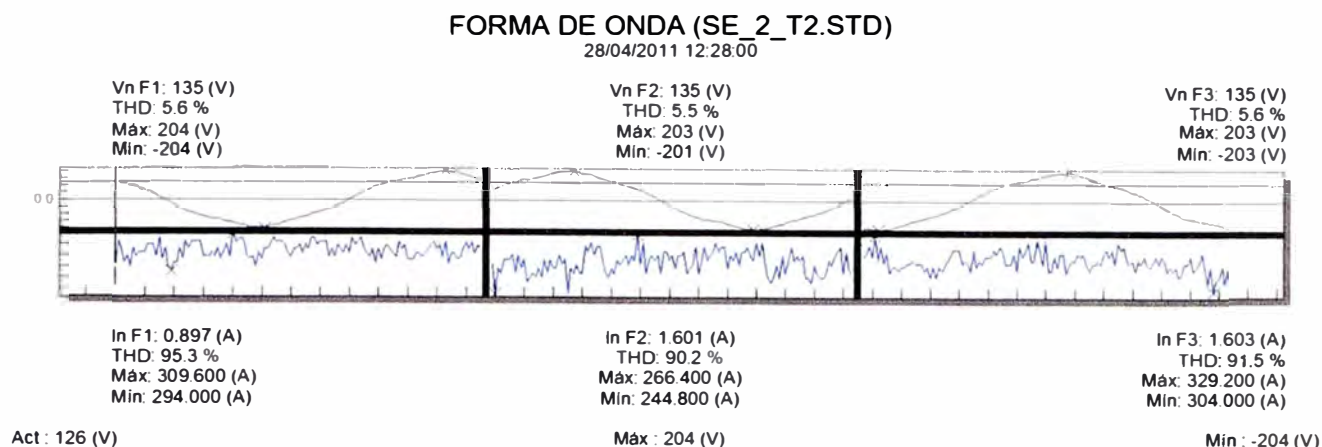
**Tabla 3.54** Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
<b>L1</b>	<b>1338</b>	<b>991.28</b>
<b>L2</b>	<b>1383</b>	<b>1013.54</b>
<b>L3</b>	<b>1306</b>	<b>957.39</b>

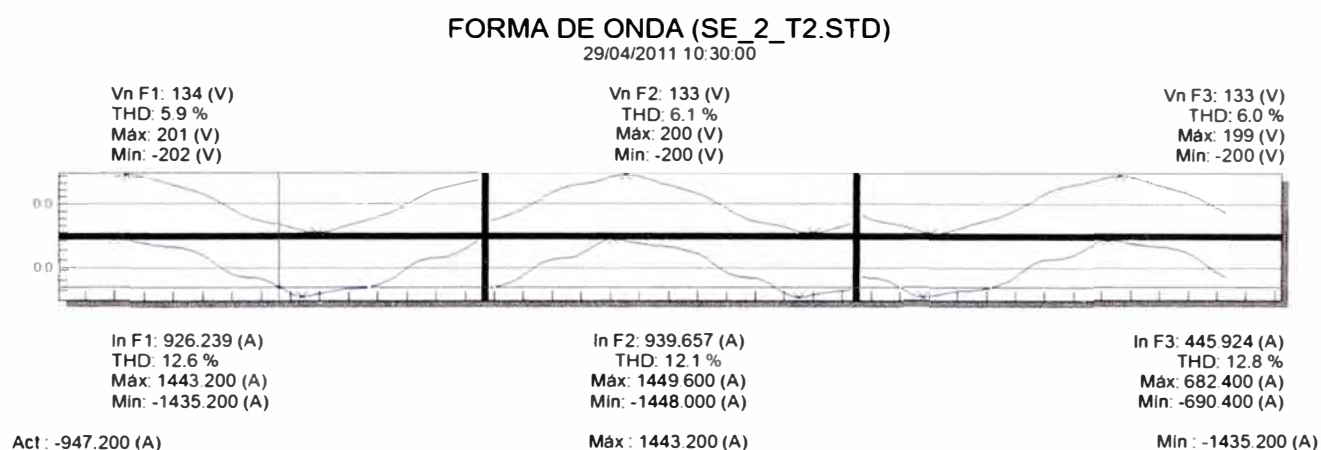


**Fig. 3.48** Corrientes por fases.

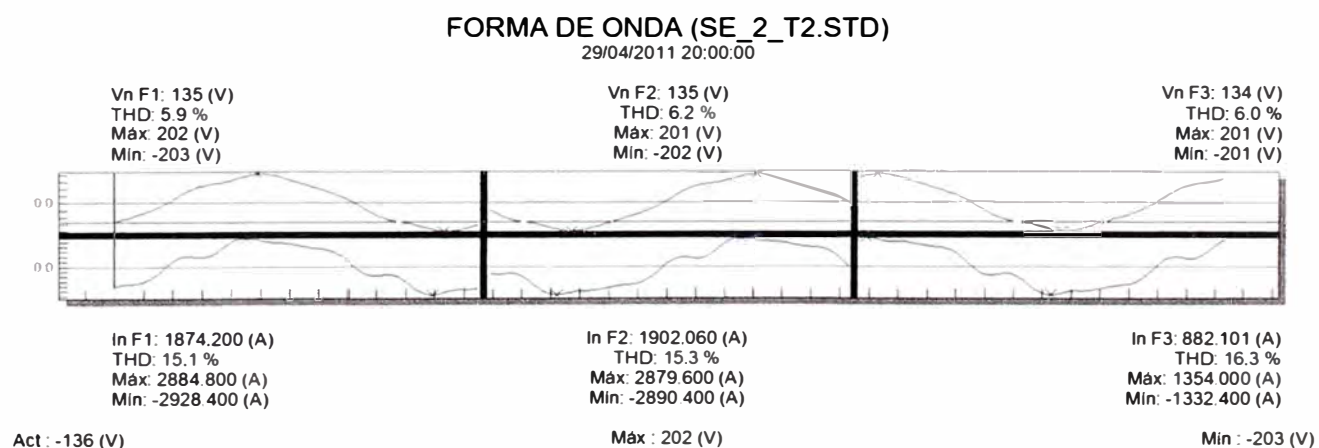
### 3.6.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.49** Forma de onda a las 12:28 pm.



**Fig. 3.50** Forma de onda a las 10:30 am.



**Fig. 3.51** Formas de onda de tensión y corriente distorsionadas.

### 3.7 Datos Registrados en la Subestación N° 3 (Transformador 1)

**Tabla 3.55** Datos de la Subestación N°3

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
N°3	240kV,3Ø,60Hz	MERLIN GERIN 2000A	T3_220

### 3.7.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.56 Nivel de tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
NTCSE ( $\pm 5\%V_n$ )			252	228
V(CH1)	239	227	CUMPLE	NO CUMPLE
V(CH2)	239.5	226.8	CUMPLE	NO CUMPLE
V(CH3)	238.9	233.2	CUMPLE	CUMPLE

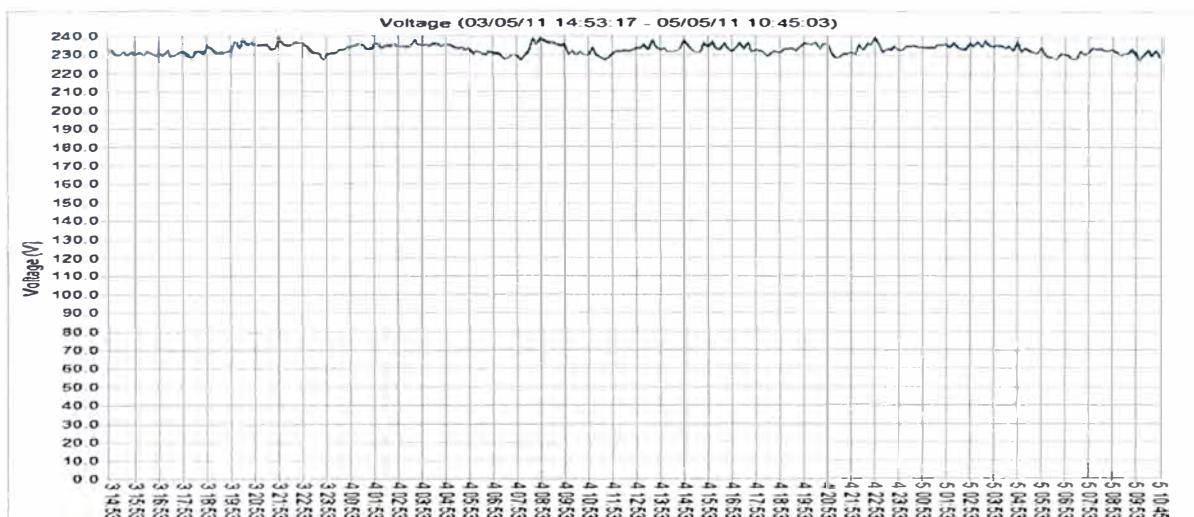


Fig. 3.52 Nivel de Tensión

### 3.7.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3. 57 Niveles de frecuencia permitida

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
NTCSE (Afk%: $\pm 0.6\%F_n$ )			60.36	59.64
-	60.40	59.50	NO CUMPLE	NO CUMPLE

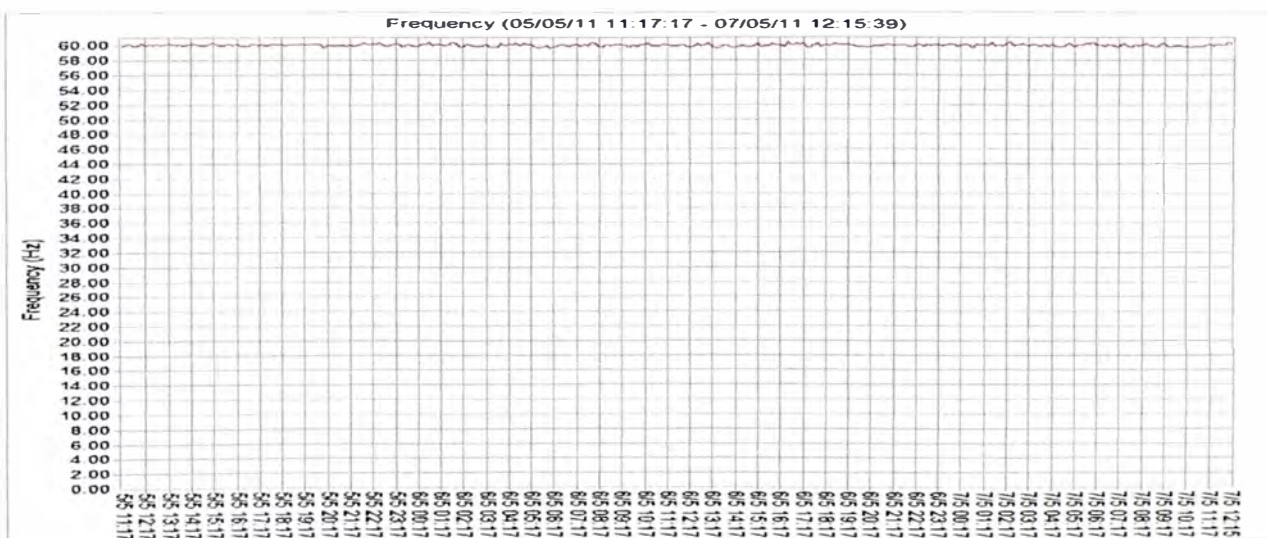


Fig. 3.53 Gráfica de la Frecuencia

### 3.7.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.58** lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>595</b>	<b>109.24</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.59** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(CH1)	04/05/2011 15:43 a 04/05/2011 16:43	<b>8.5%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	04/05/2011 15:43a 04/05/2011 16:43	<b>8.3%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	04/05/2011 15:43a 04/05/2011 16:43	<b>8.1%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.60** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(CH1)	03/05/2011 14:53	<b>10.1%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	03/05/2011 14:53	<b>9.3%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	03/05/2011 14:53	<b>9.4%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.61** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>



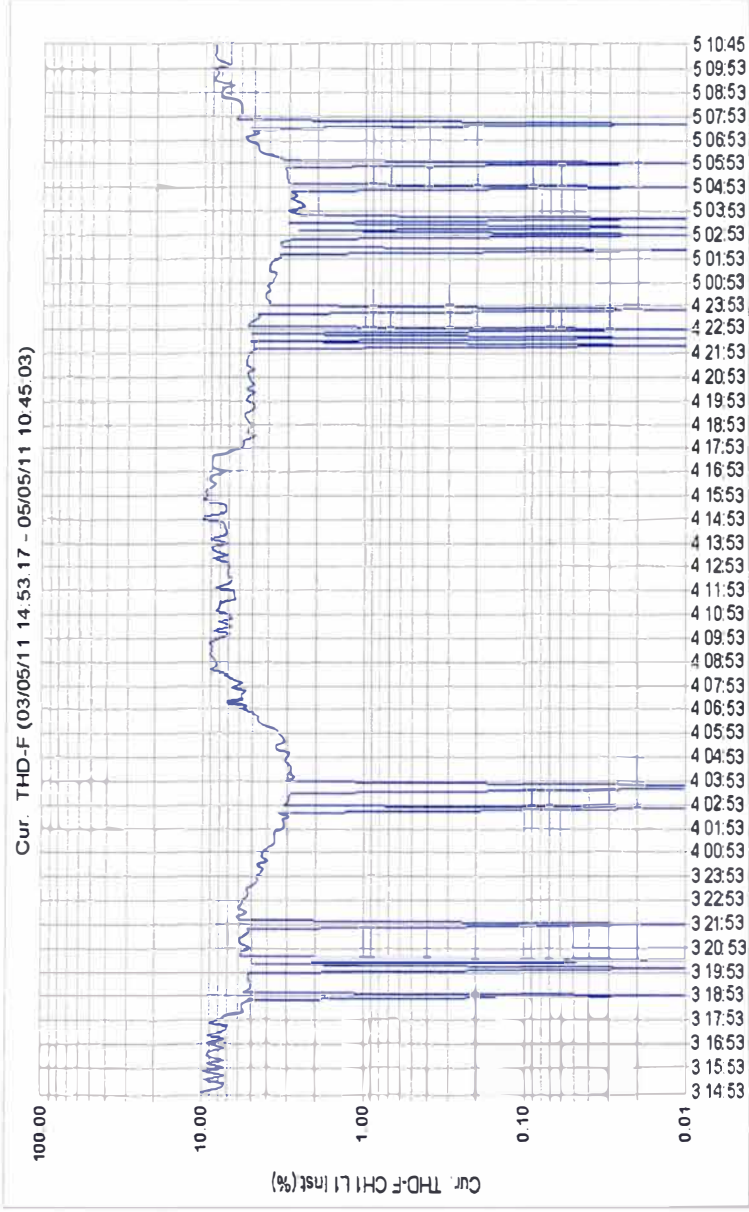


Fig. 3.54 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH1 (THDI-CH1)

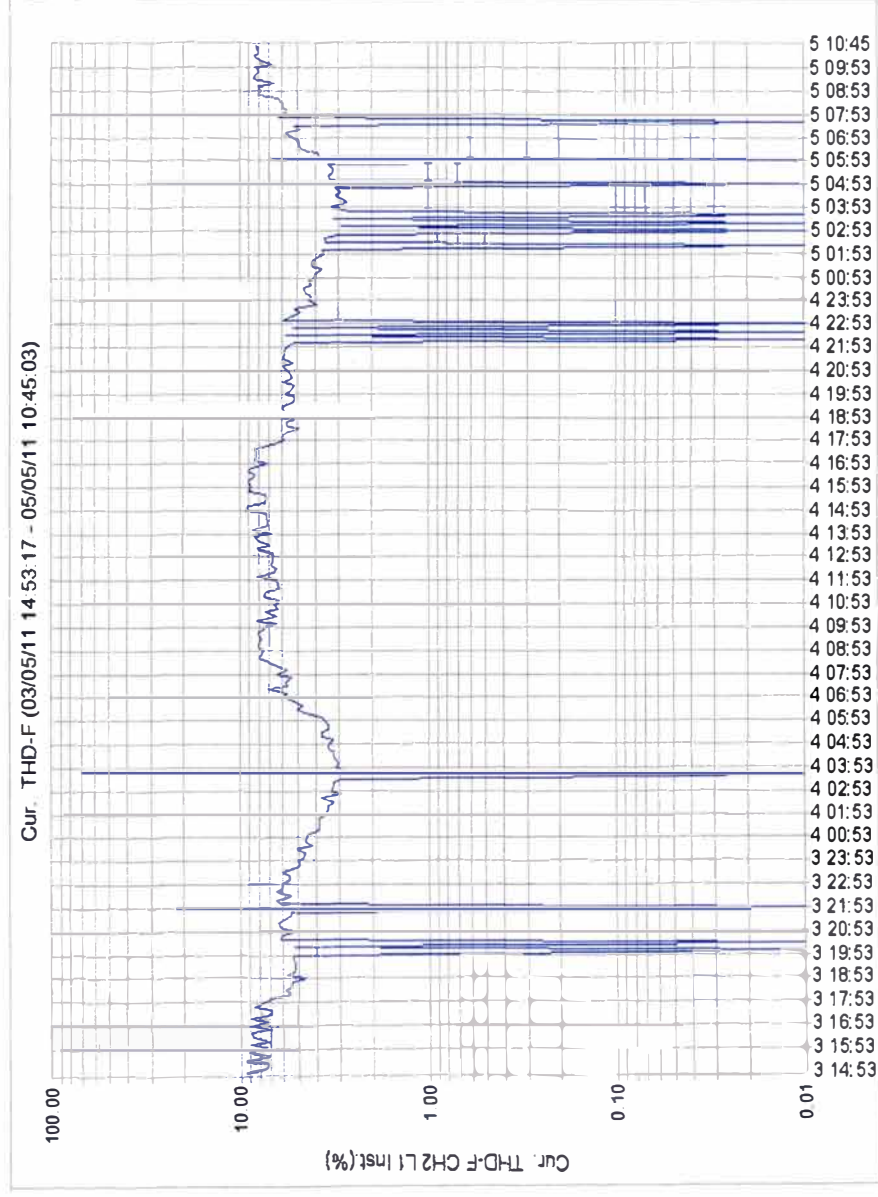
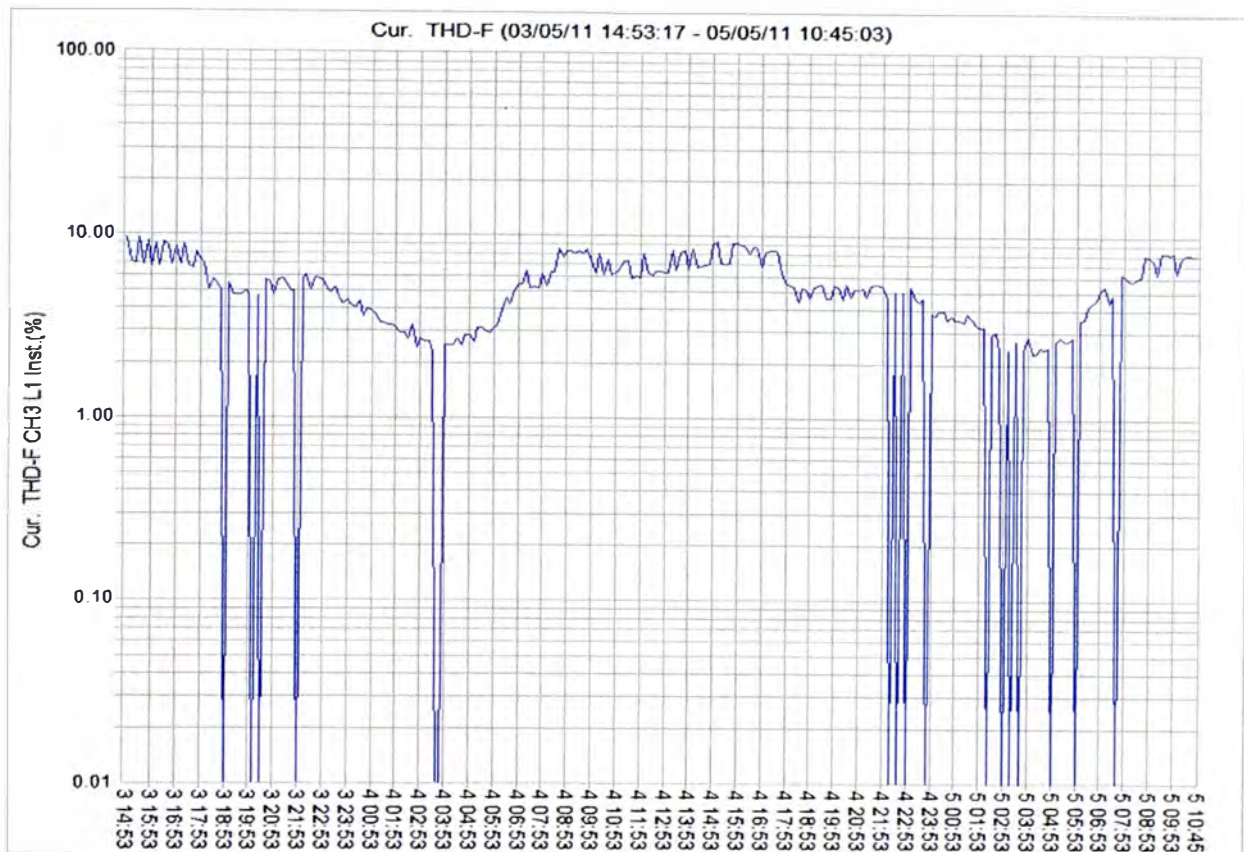


Fig. 3.55 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH2 (THDI-CH3)



**Fig. 3.56** Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH3 (THDI-CH3)

**B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)**

**Tabla 3.62** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(CH1)	04/05/2011 15:43 a 04/05/2011 16:43	<b>4.6%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	04/05/2011 15:33 a 04/05/2011 16:33	<b>4.5%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	04/05/2011 15:43 a 04/05/2011 16:43	<b>4.5%</b>	<b>CUMPLE</b>

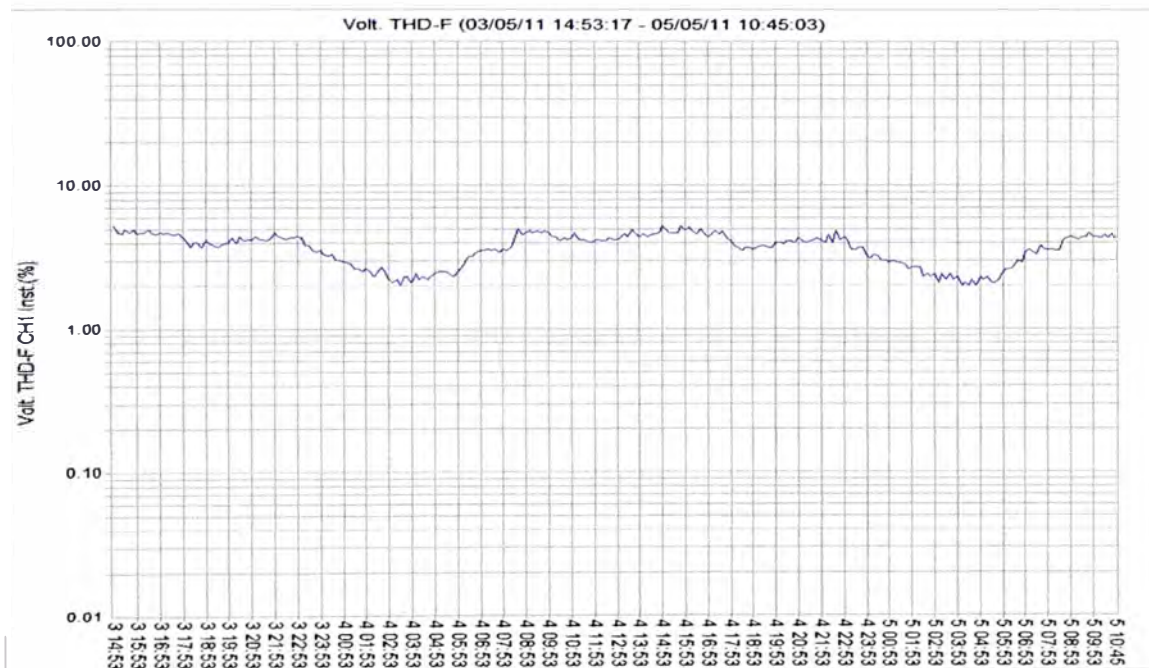
**Tabla 3.63** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(CH1)	03/05/2011 14:53	<b>5.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	04/05/2011 14:53	<b>5.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	03/05/2011 14:53	<b>5.1%</b>	<b>CUMPLE</b>

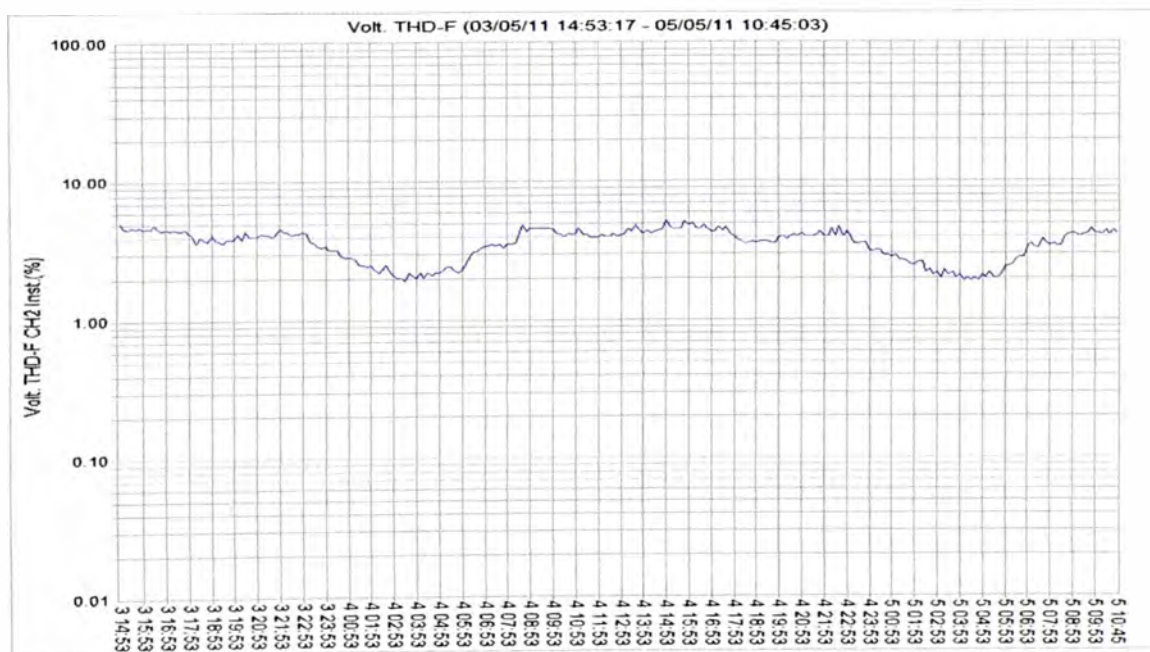
**Tabla 3.64** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>CH1</b>	03/05/2011 14:53	0%	5.2%	0.6%	0%	0%
<b>CH2</b>	04/05/2011 14:53	0%	5.2%	0.6%	0%	0%
<b>CH3</b>	03/05/2011 14:53	0%	5.2%	0.6%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

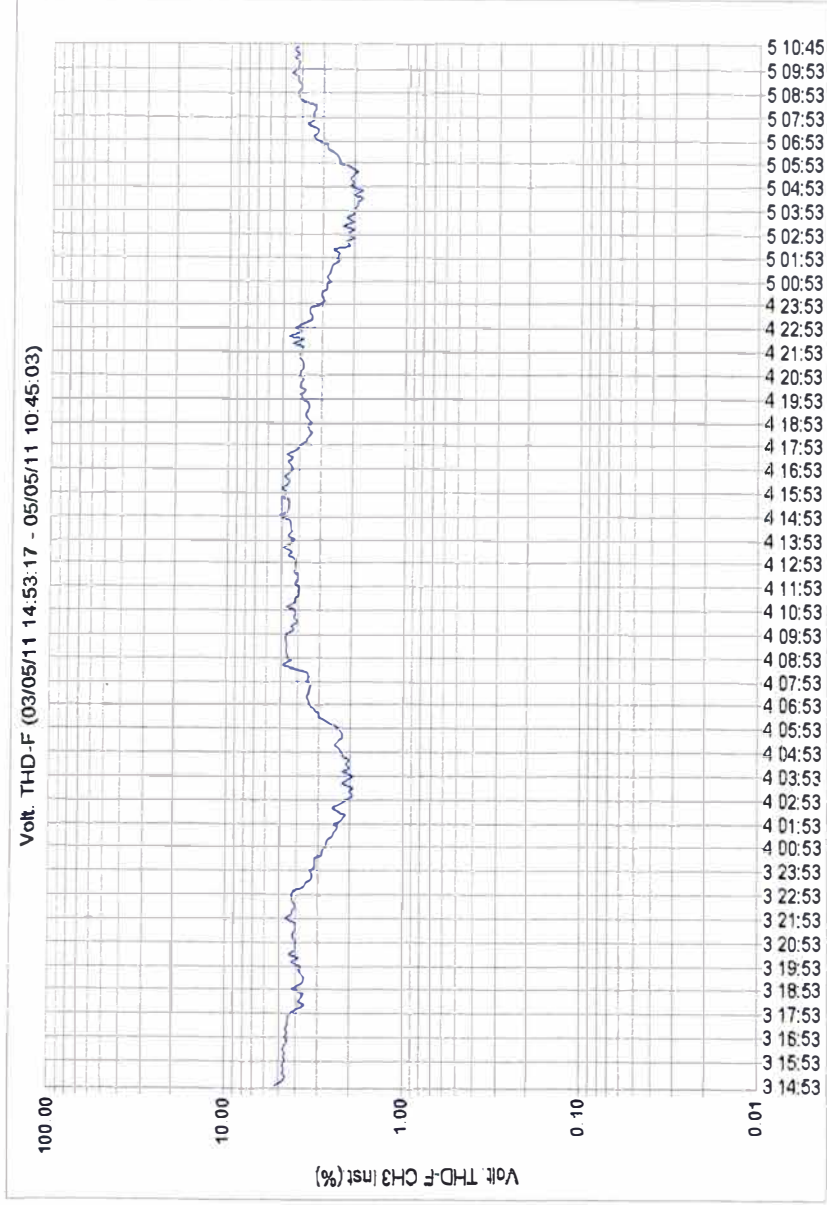
NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



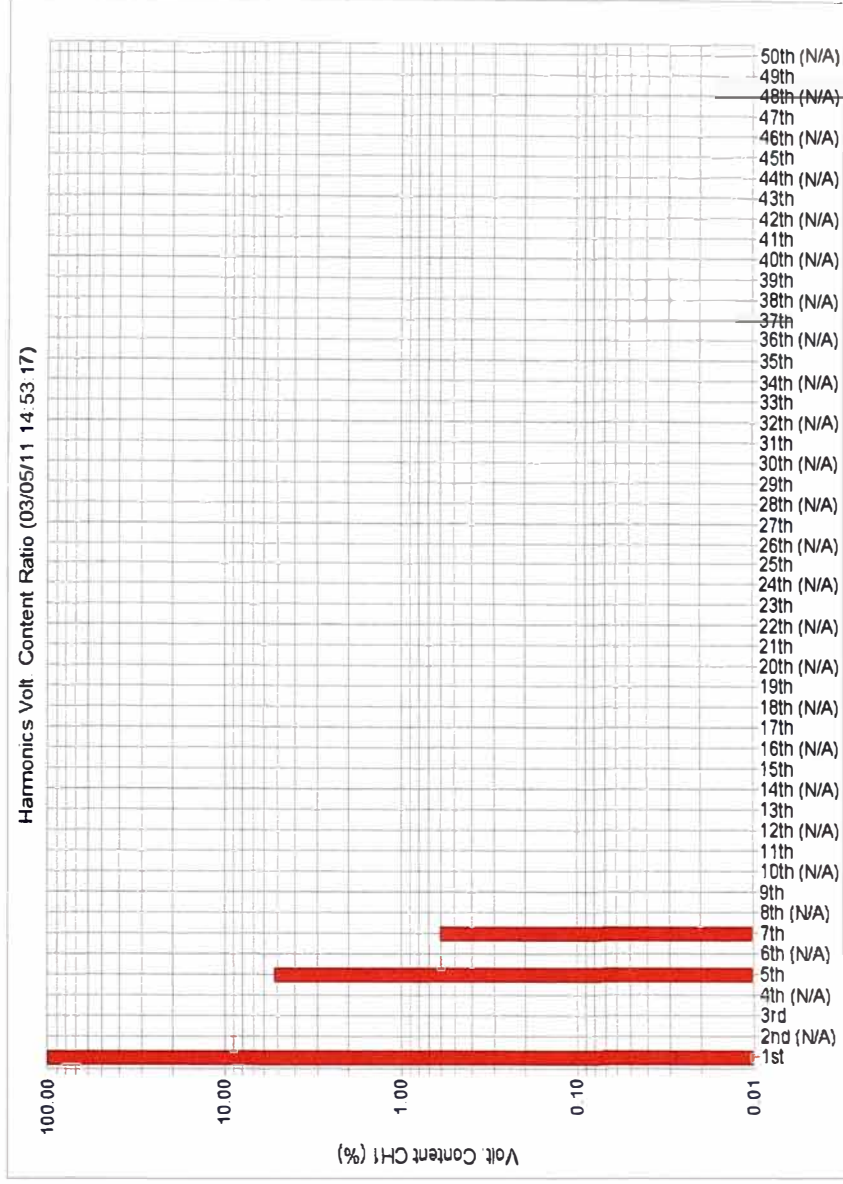
**Fig. 3.57** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH1 (THDV-CH1)



**Fig. 3.58** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH2 (THDV-CH2)



### 3.59 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH3 (THDV-CH3)



### 3.60 Armónicos de Tensión individuales CH1 (THDV-CH1)

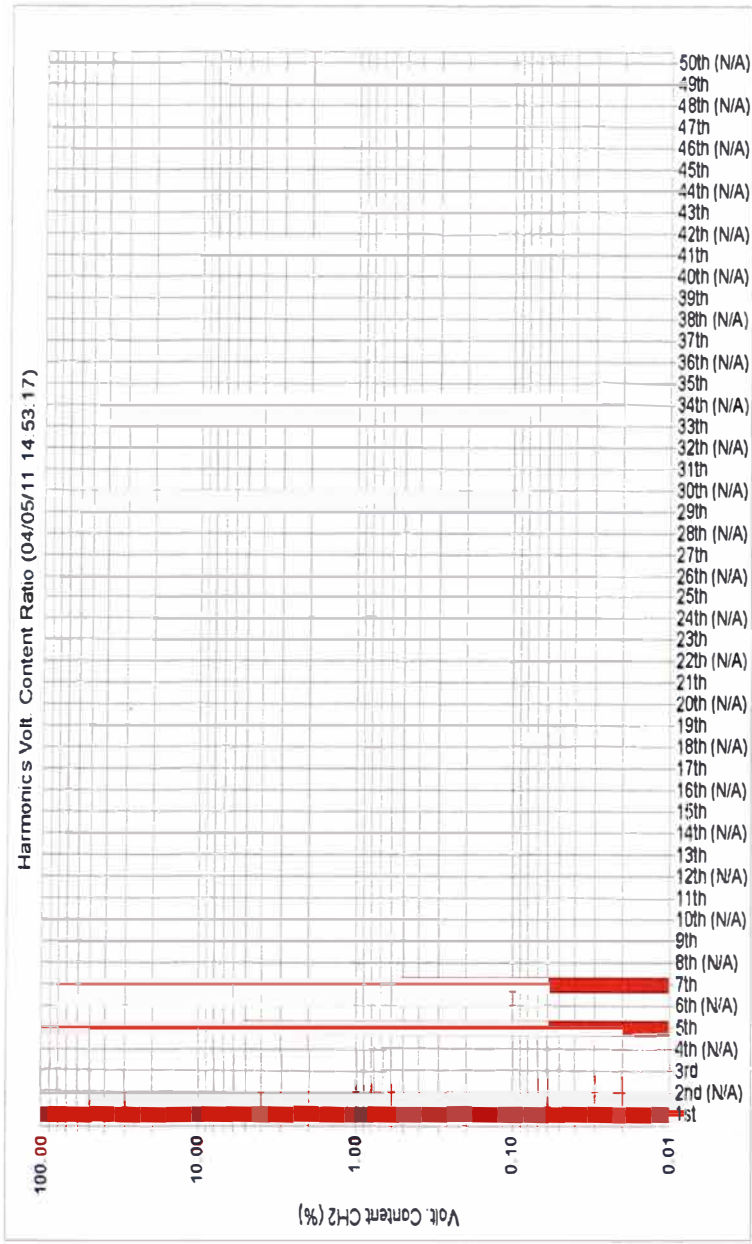


Fig.3.61 Armónicos de Tensión individuales CH2 (THDV-CH2)

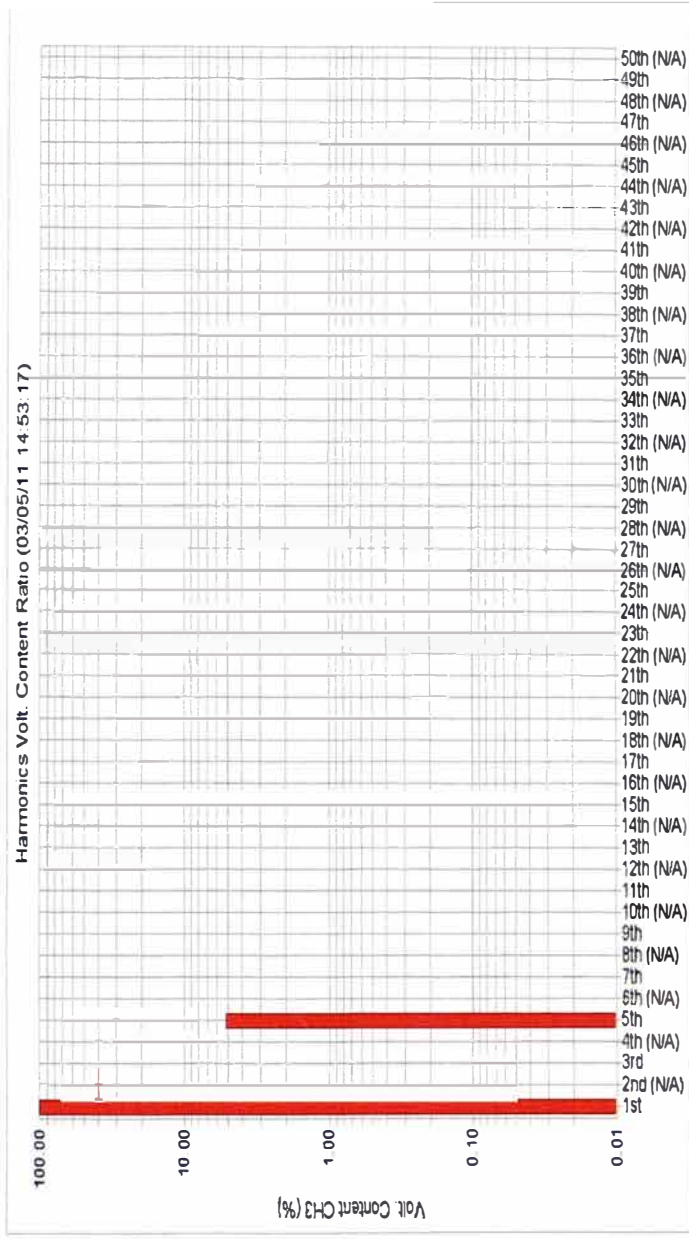
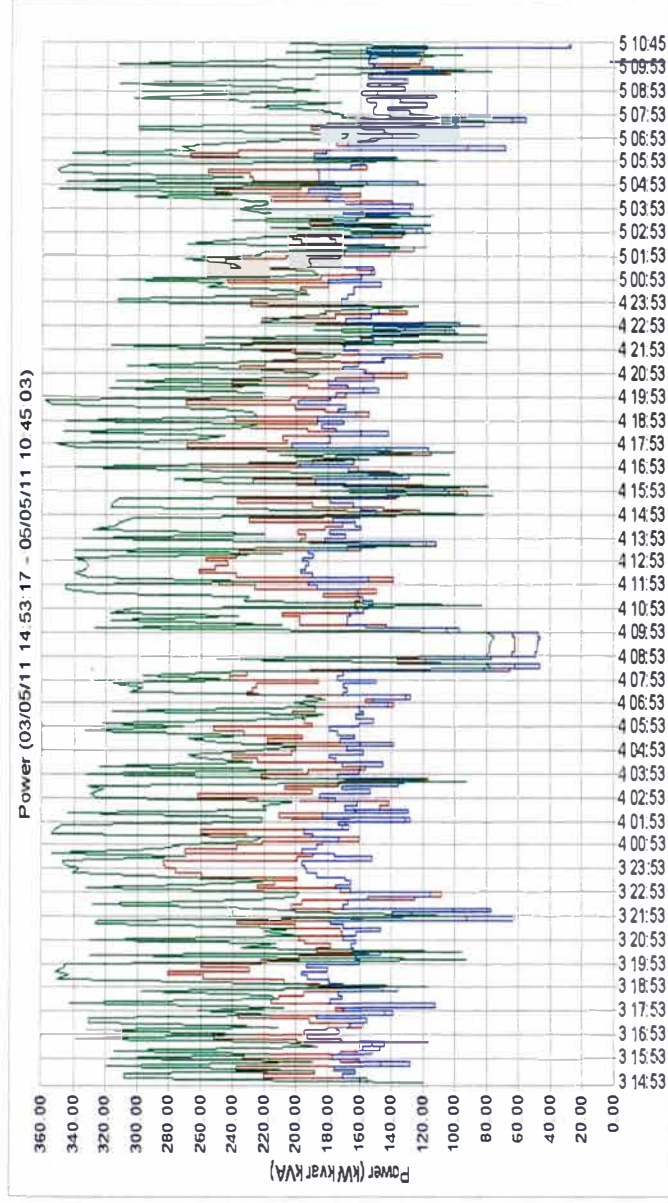


Fig. 3.62 Armónicos de Tensión individuales CH3 (THDV-CH3)

3.7.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.65 Demanda máximas de las potencias

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
283	203	359

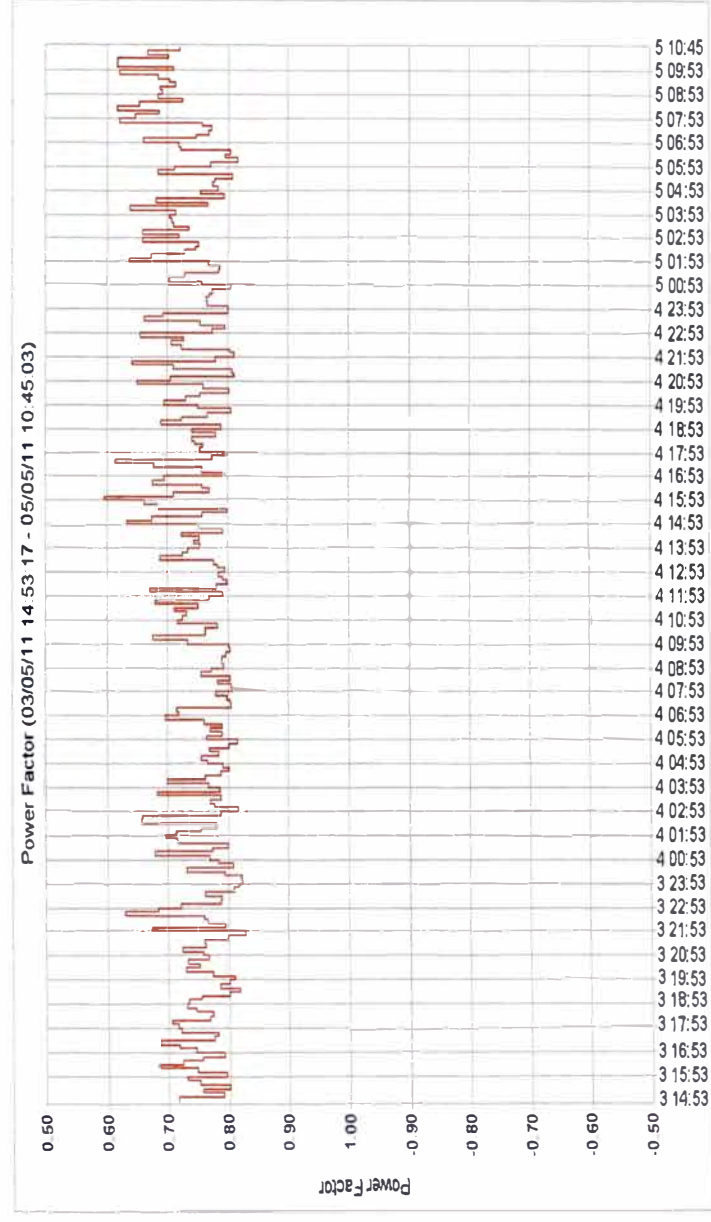


**Fig. 3.63** Potencia aparente (verde), Activa (rojo), Reactiva (azul)

### 3.7.5 Datos de Factor de Potencia.

**Tabla 3.66** Niveles de frecuencia permitida

<b>FDP MÁXIMA</b>	<b>FDP MÍNIMA</b>	<b>FDP PROMEDIO</b>
<b>0.83</b>	<b>0.60</b>	<b>0.75</b>



**Fig. 3.64** Factor de Potencia.

### 3.7.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.67 Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
I(CH1)	832	558.15
I(CH2)	879	594.78
I(CH3)	941	632.09

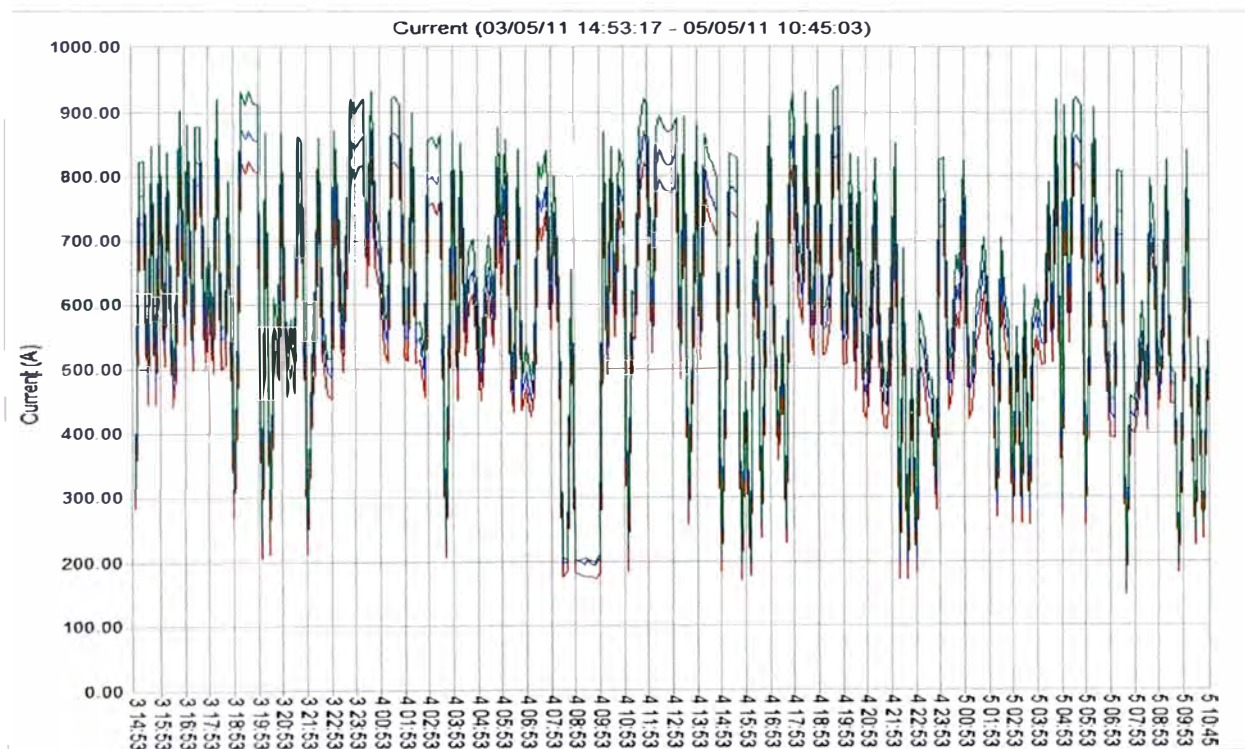


Fig. 3.65 Corriente ICH1 (rojo), ICH2 (azul), ICH3 (verde)

### 3.7.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.

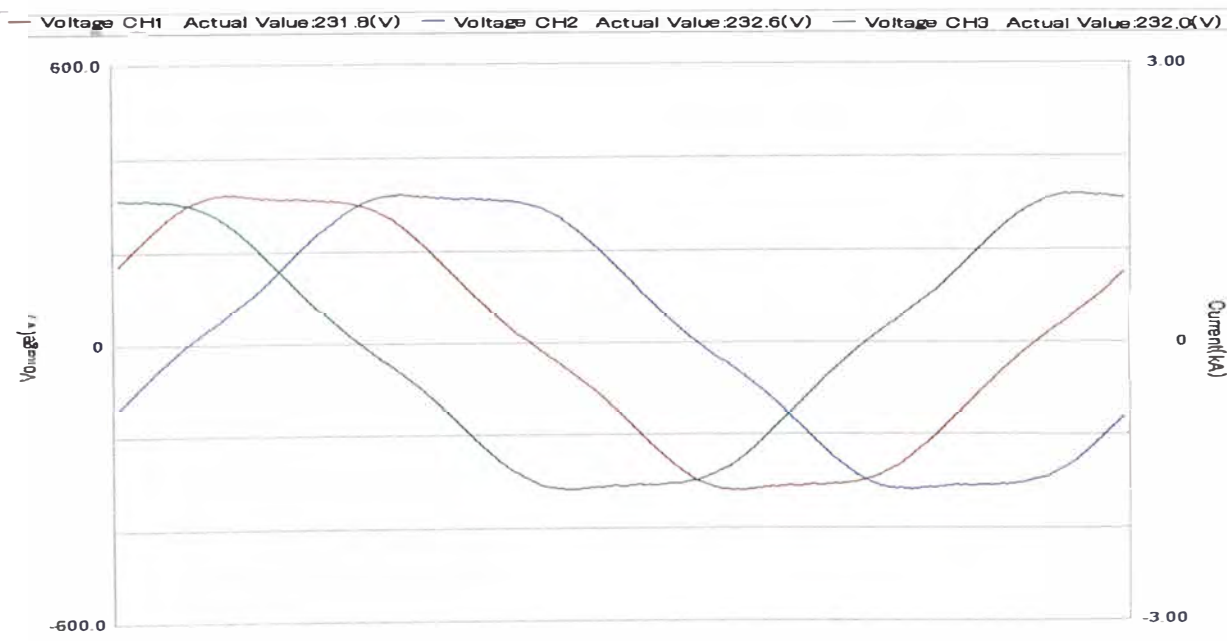
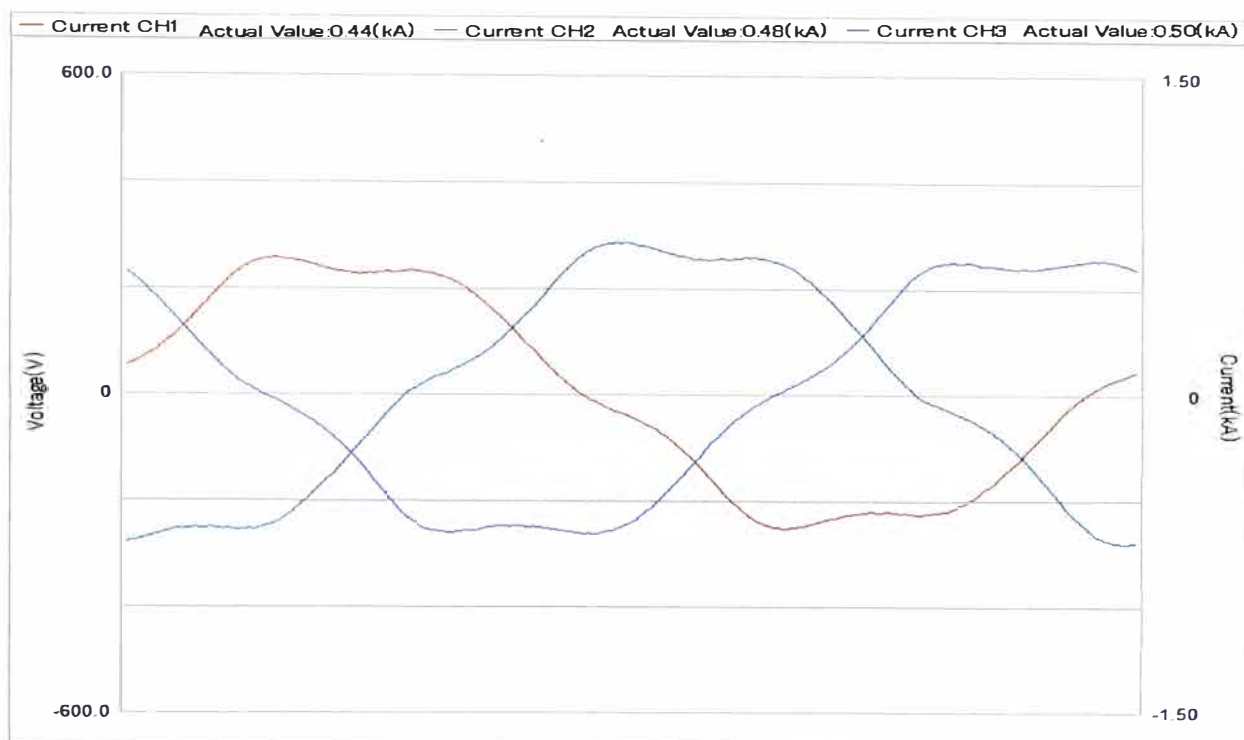


Fig. 3.66 Formas de Onda de Tensión Distorsionada.



**Fig. 3.67** Formas de Onda de Corriente Distorsionada

### 3.8 Datos Registrados en la Subestación N° 3 (Transformador 2)

**Tabla 3.68** Datos de la subestación N°3

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
N°3	460V,3Ø,60Hz	ABB 3200A	S3_440

#### 3.8.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

**Tabla 3.69** Nivel de tensión permitida

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
<b>NTCSE (<math>\pm 5\%V_n</math>)</b>			483	437
V(CH1)	462.2	444.6	CUMPLE	CUMPLE
V(CH2)	462.9	445.5	CUMPLE	CUMPLE
V(CH3)	464.3	446.6	CUMPLE	CUMPLE



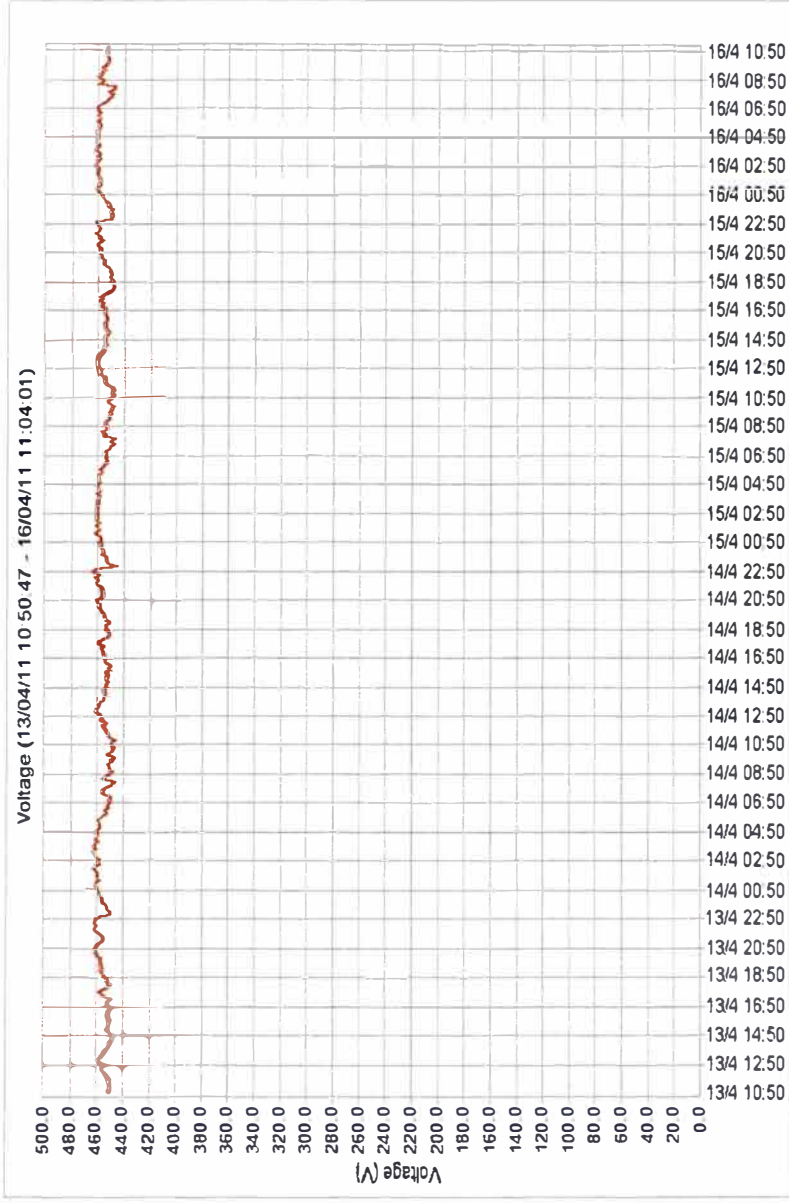


Fig. 3.68 Nivel de Tensión

3.8.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.70 Niveles de frecuencia

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
-	60.35	59.60	60.36	59.64
NTCSE (Afk%: ±0.6%Fn)			CUMPLE	NO CUMPLE

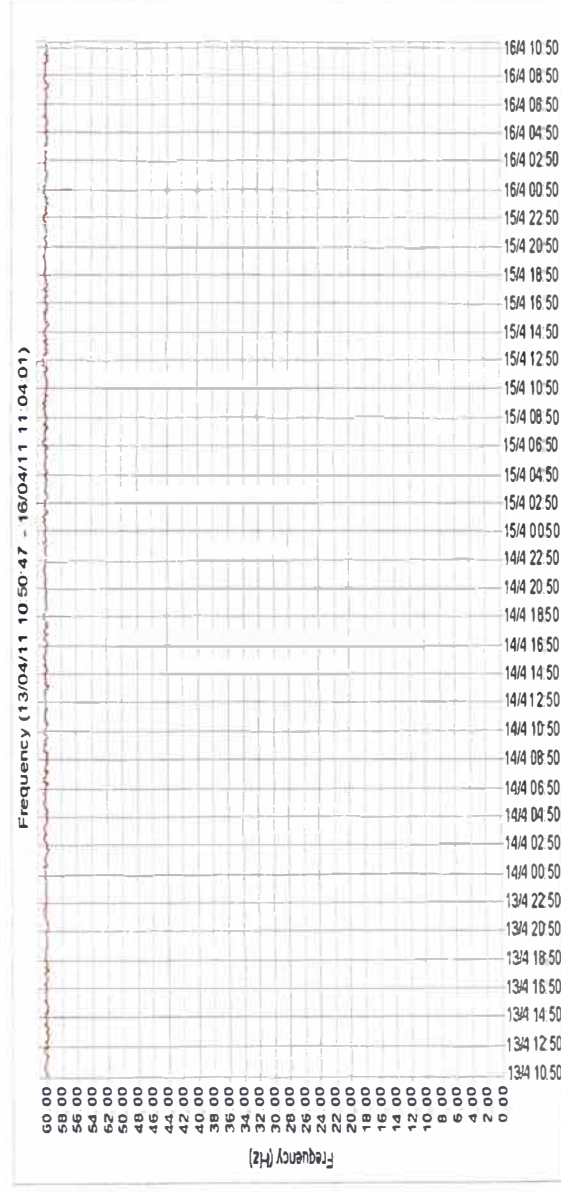


Fig. 3.69 Gráfica de la Frecuencia

### 3.8.3 Datos de las mediciones de Armónicos (según Norma IEEE 519)

#### TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.71** Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>770</b>	<b>84.4</b>

ISC = corriente de cortocircuito

IL = corriente total a frecuencia fundamental.

**Tabla 3.72** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>12%</b>
I(CH1)	13/04/2011 11:00 a 13/04/2011 12:00	<b>24.4%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	14/04/2011 03:30 a 14/04/2011 04:30	<b>23%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	13/04/2011 11:00 a 13/04/2011 12:00	<b>21%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

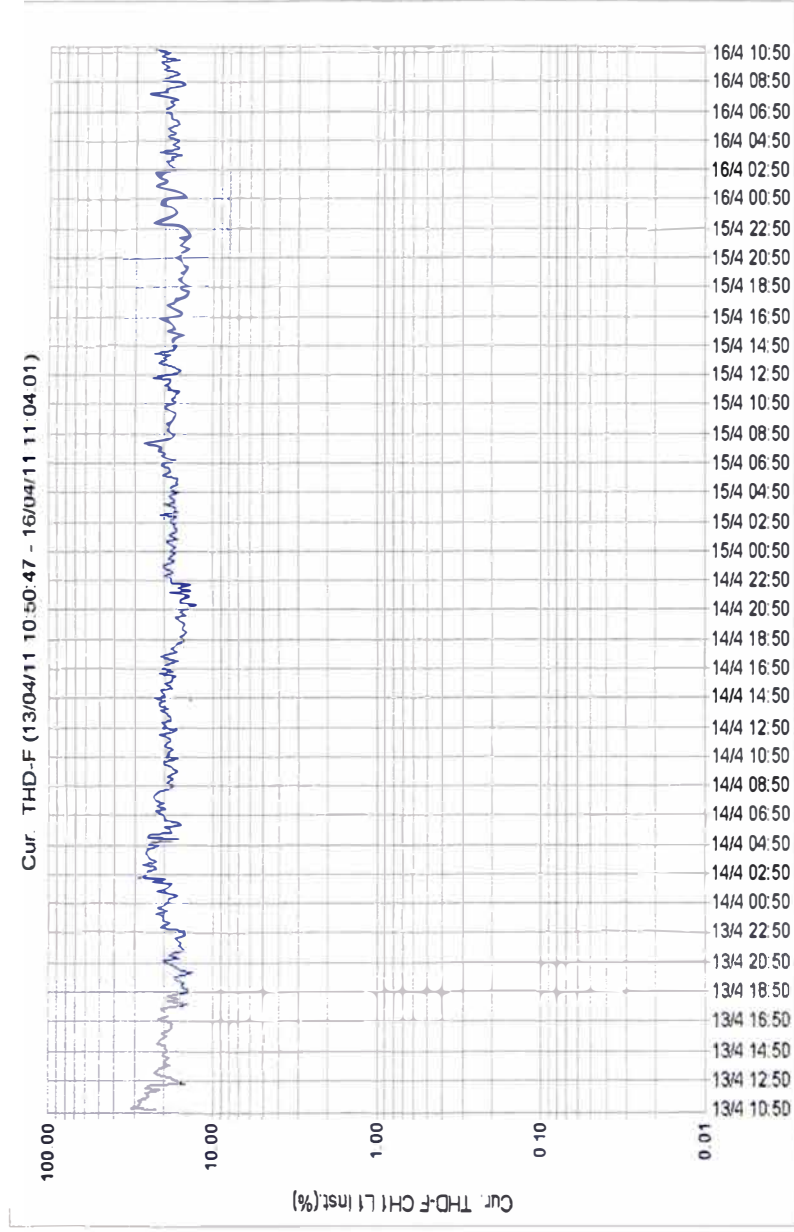
**Tabla 3.73** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>18%</b>
I(CH1)	13/04/2011 11:00	<b>30.8%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	13/04/2011 11:00	<b>29.1%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	13/04/2011 11:00	<b>27.2%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

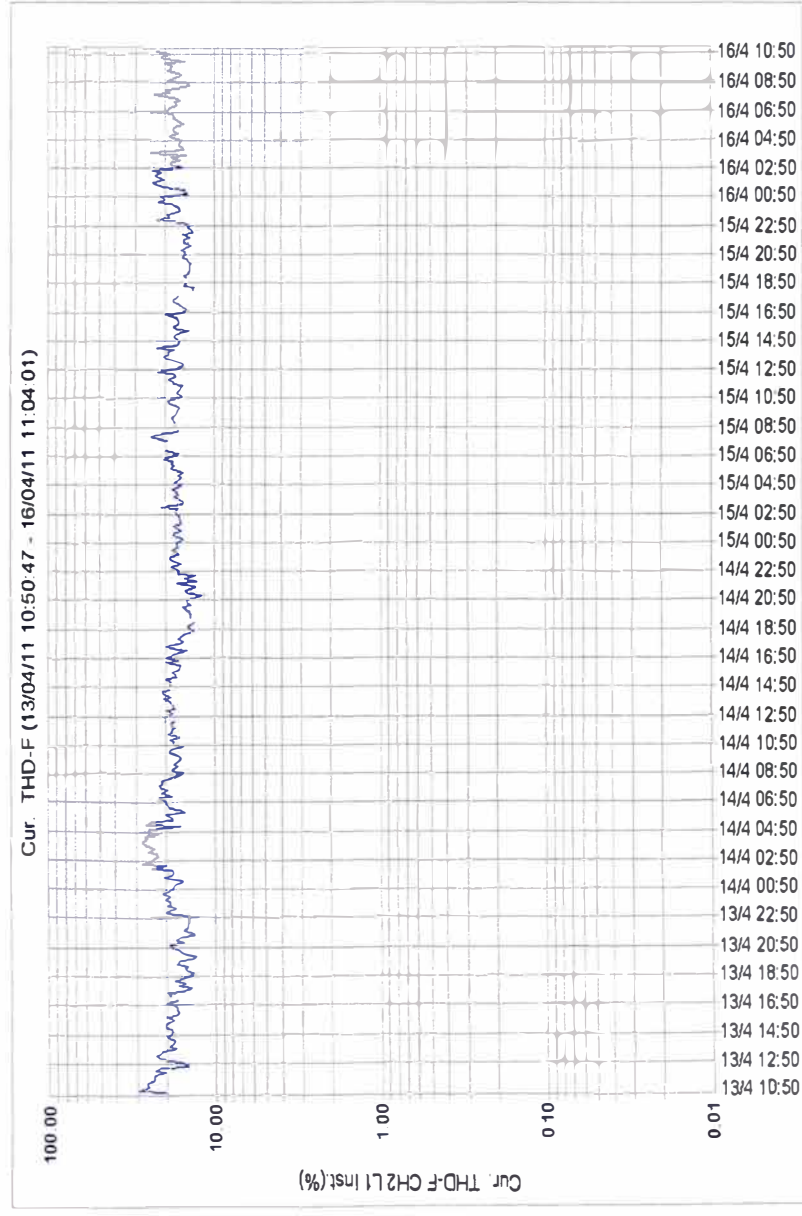
**Tabla 3.74** Tasa de distorsión armónica de corriente

Para armónicos de corrientes impares individuales.

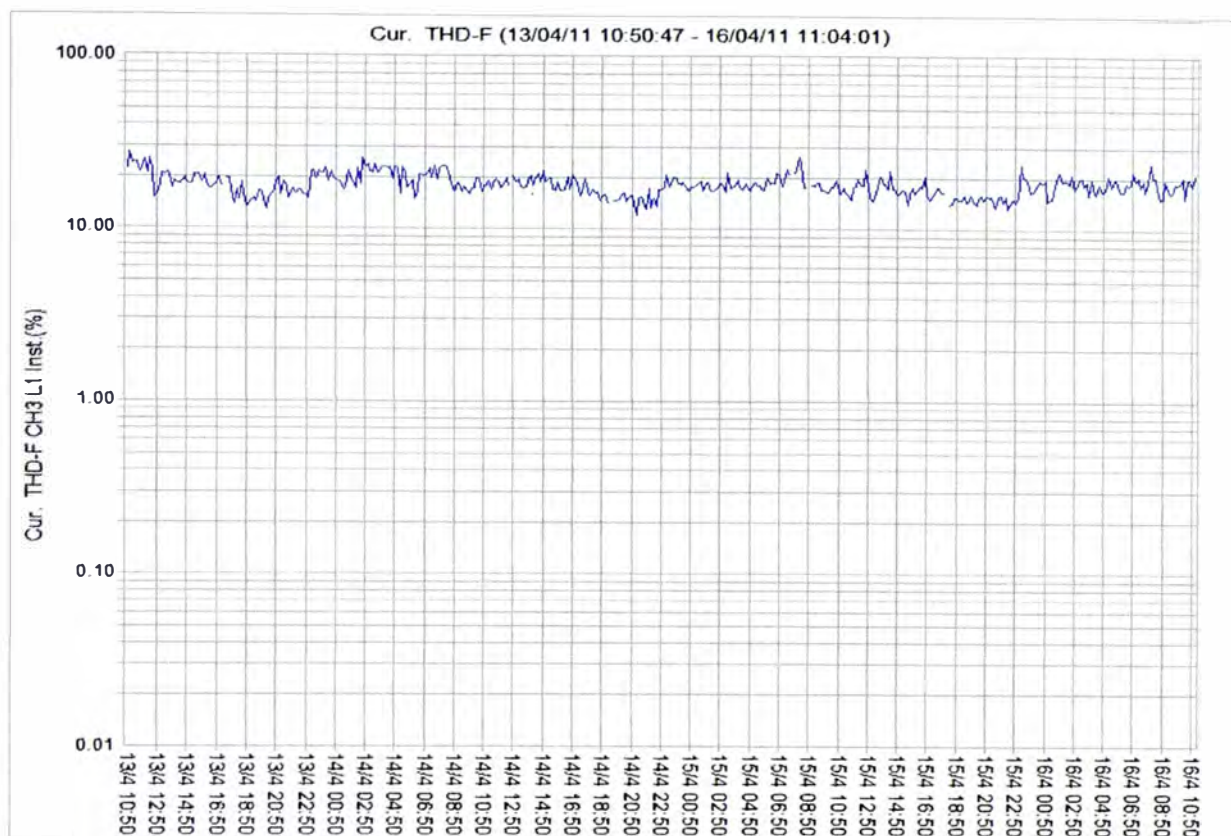
ISC/IL	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35
	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>



**Fig. 3.70 Tasa de Distorsión Armónica de corriente  
CH1 (THDI-CH1)**



**Fig. 3.71 Tasa de Distorsión Armónica de corriente  
CH2 (THDI-CH2)**



**Fig. 3.72** Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH3 (THDI-CH3)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)

**Tabla 3.75** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(CH1)	13/04/2011 15:20 a 13/04/2011 16:20	<b>6.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	13/04/2011 15:20 a 13/04/2011 16:20	<b>6.4%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	13/04/2011 15:20 a 13/04/2011 16:20	<b>6.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

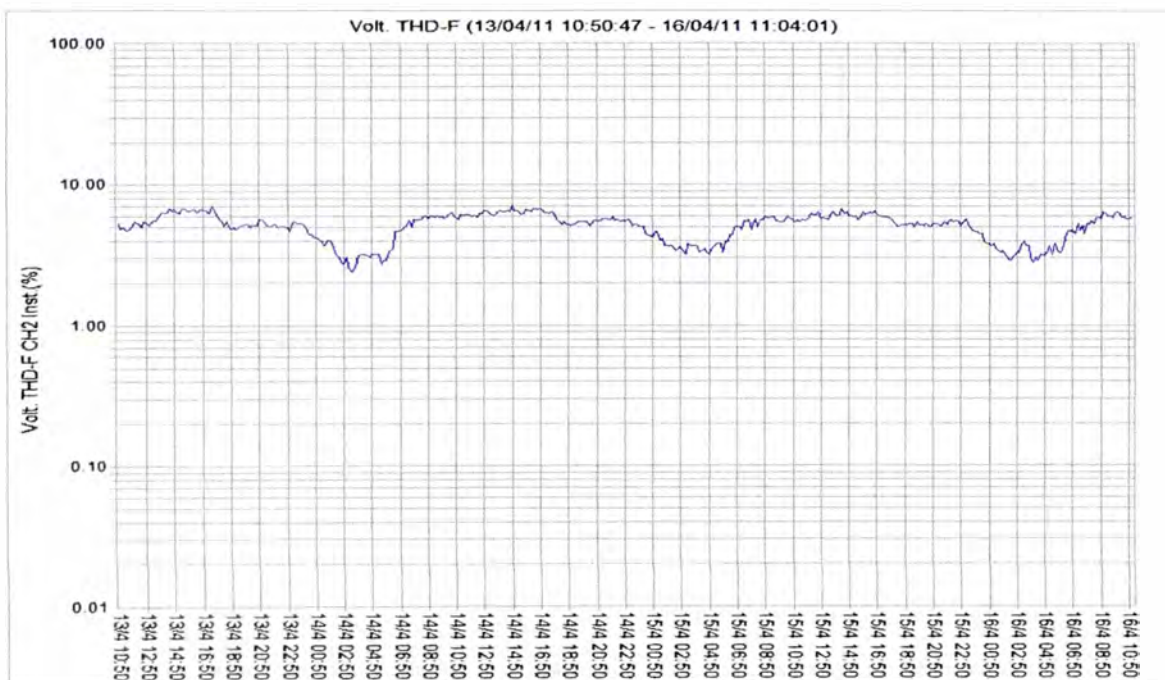
**Tabla 3.76** tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(CH1)	14/04/2011 14:50	<b>7.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	14/04/2011 14:50	<b>7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	14/04/2011 14:50	<b>7.1%</b>	<b>CUMPLE</b>

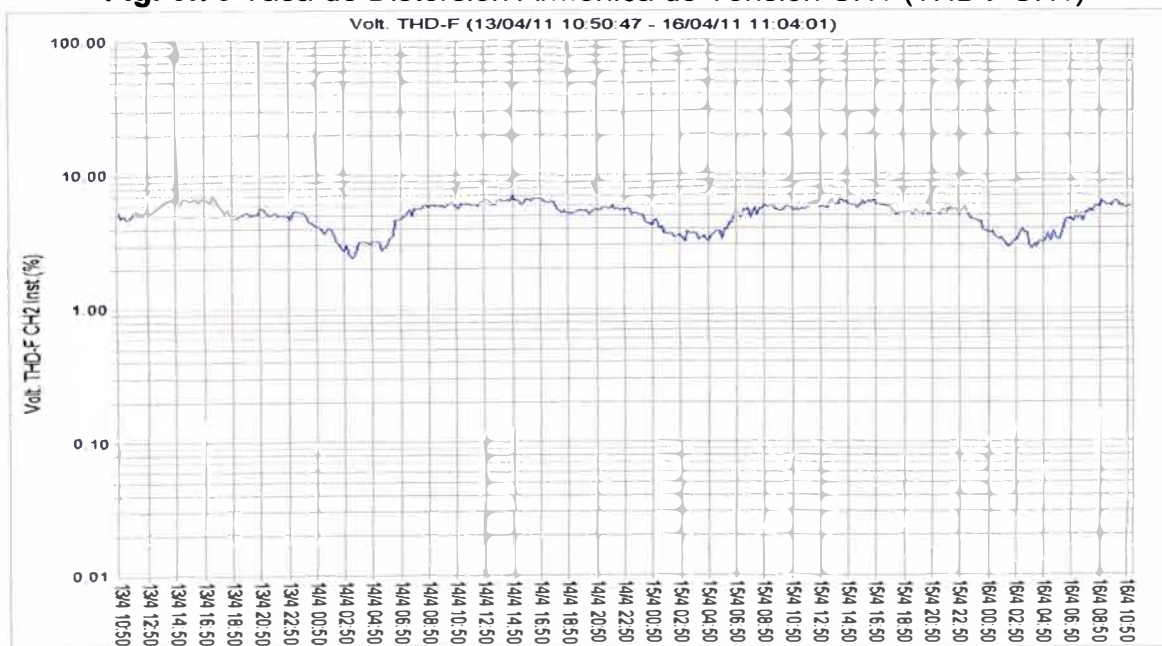
**Tabla 3.77** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>CH1</b>	14/04/2011 14:50	0%	6.7%	1%	0%	0%
<b>CH2</b>	14/04/2011 14:50	0%	6.5%	1.2%	0%	0%
<b>CH3</b>	14/04/2011 14:50	0%	6.6%	0.9%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3.73** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH1 (THDV-CH1)



**Fig. 3.74** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión  
CH2 (THDV-CH1)

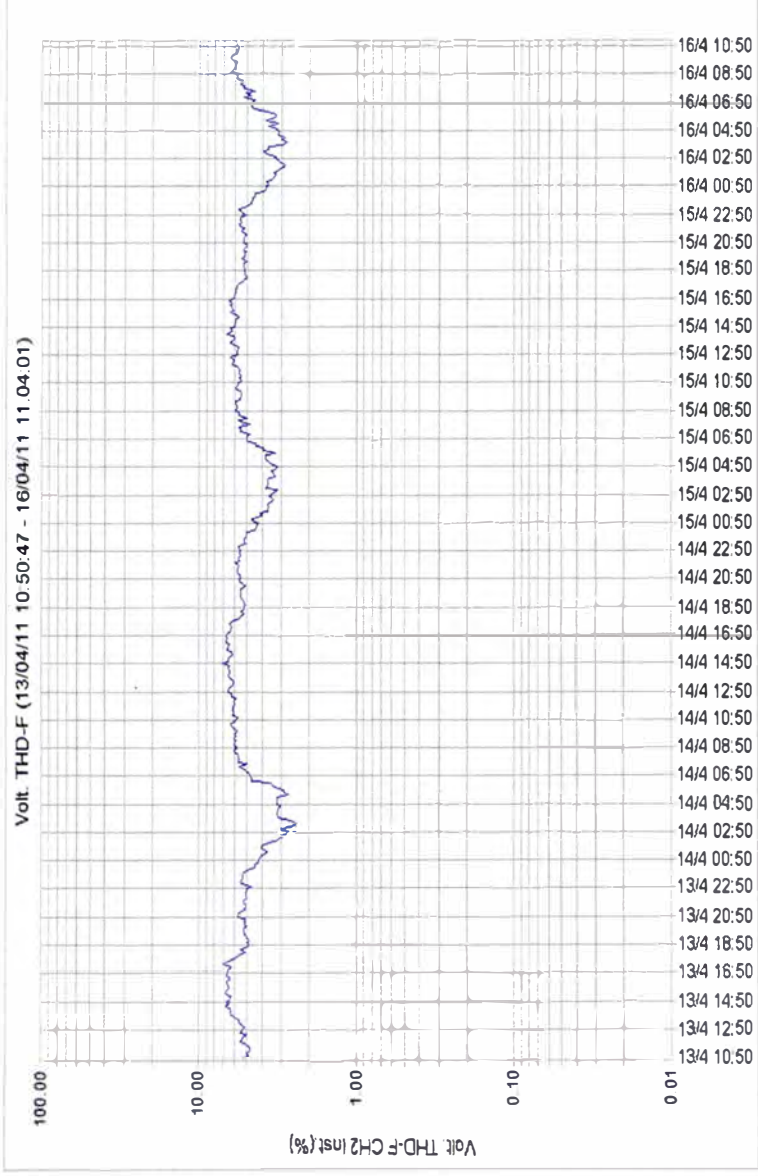


Fig. 3.75 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH3 (THDV-CH3)

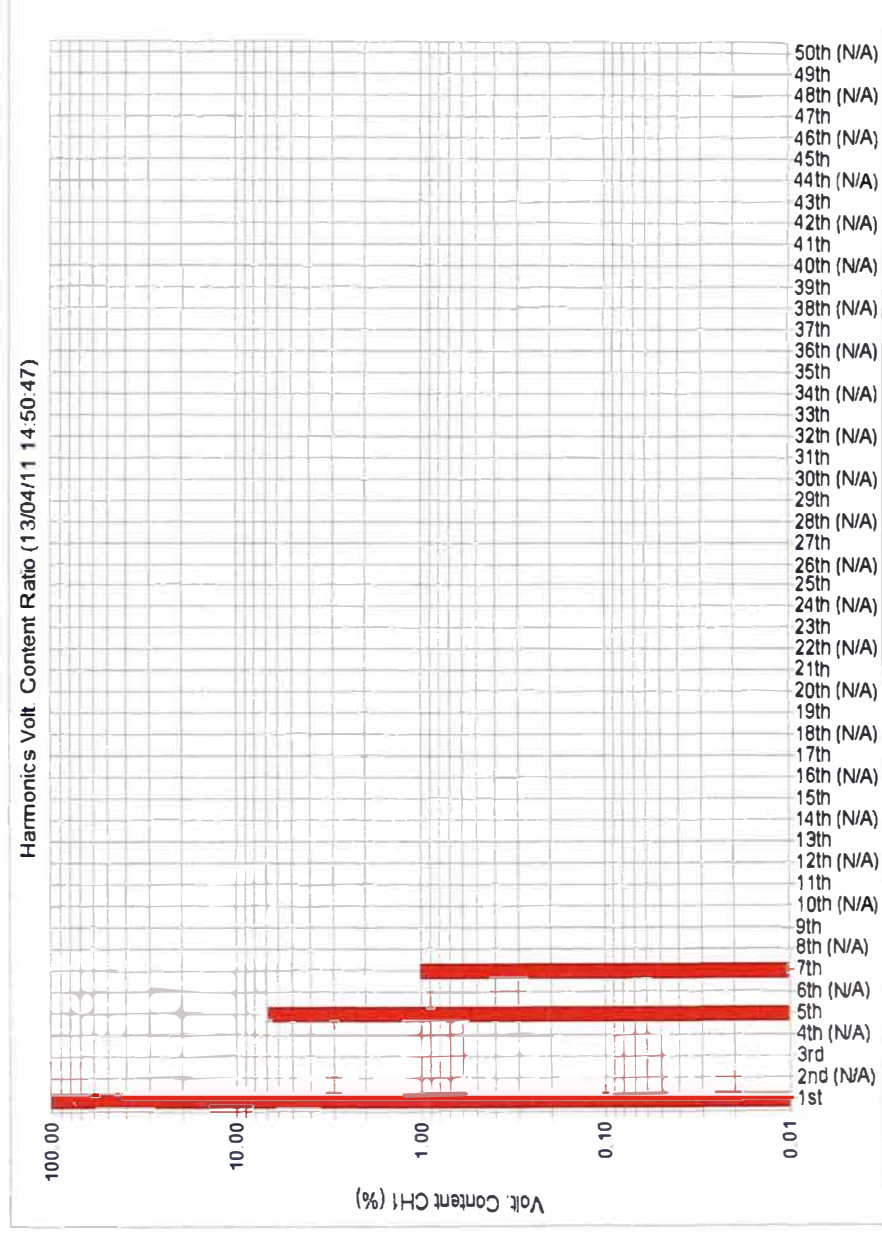


Fig. 3.76 Armónicos de Tensión individuales CH1 (THDV-CH1)

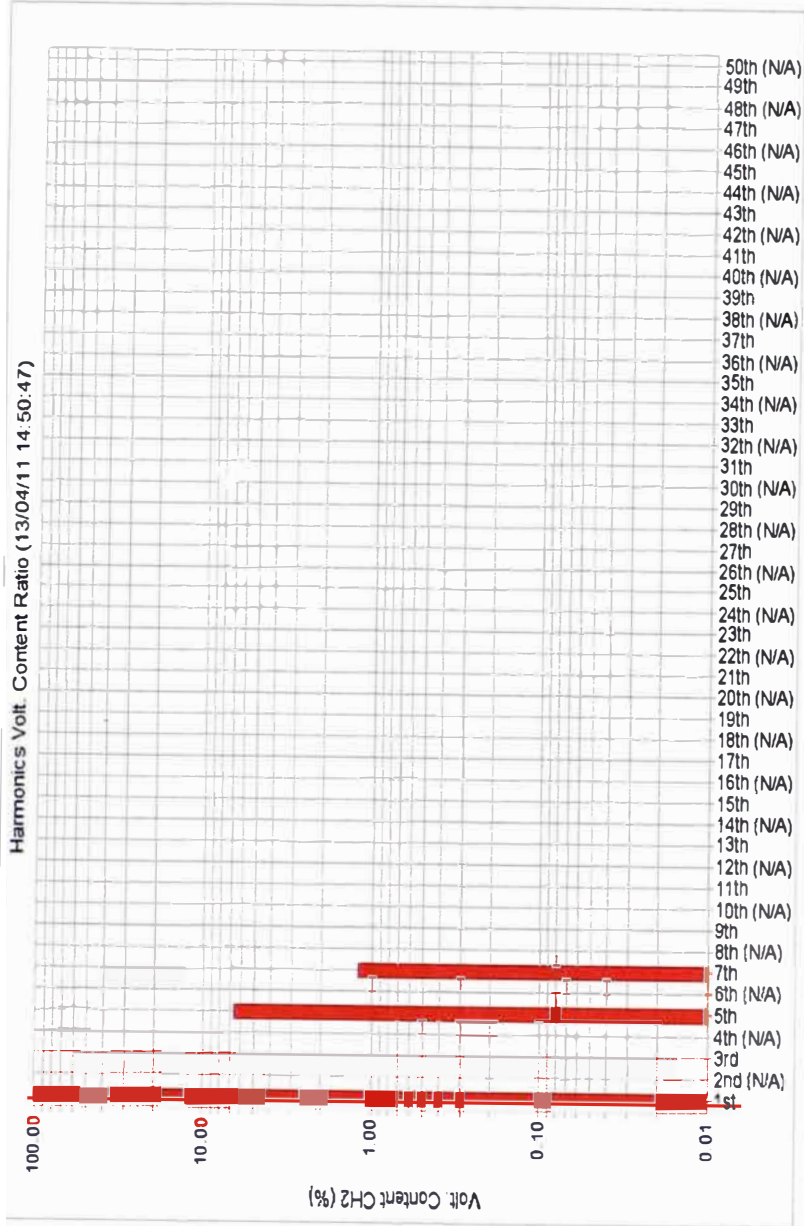


Fig. 3.77 Armónicos de Tensión individuales CH2 (THDV-CH2)

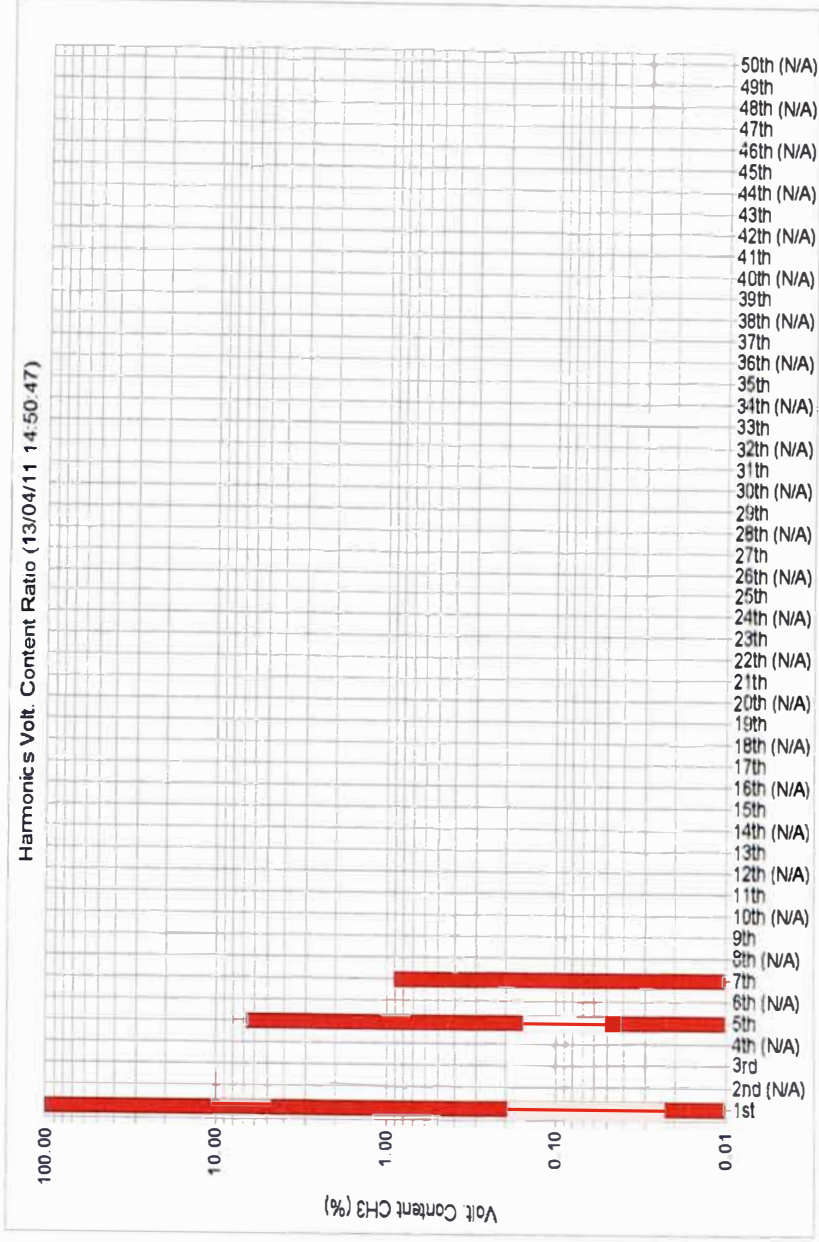


Fig. 3.78 Armónicos de Tensión individuales CH3 (THDV-CH3)

### 3.8.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.78 Demandas máximas de las potencias

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
<b>727.2</b>	<b>67.2</b>	<b>757.3</b>

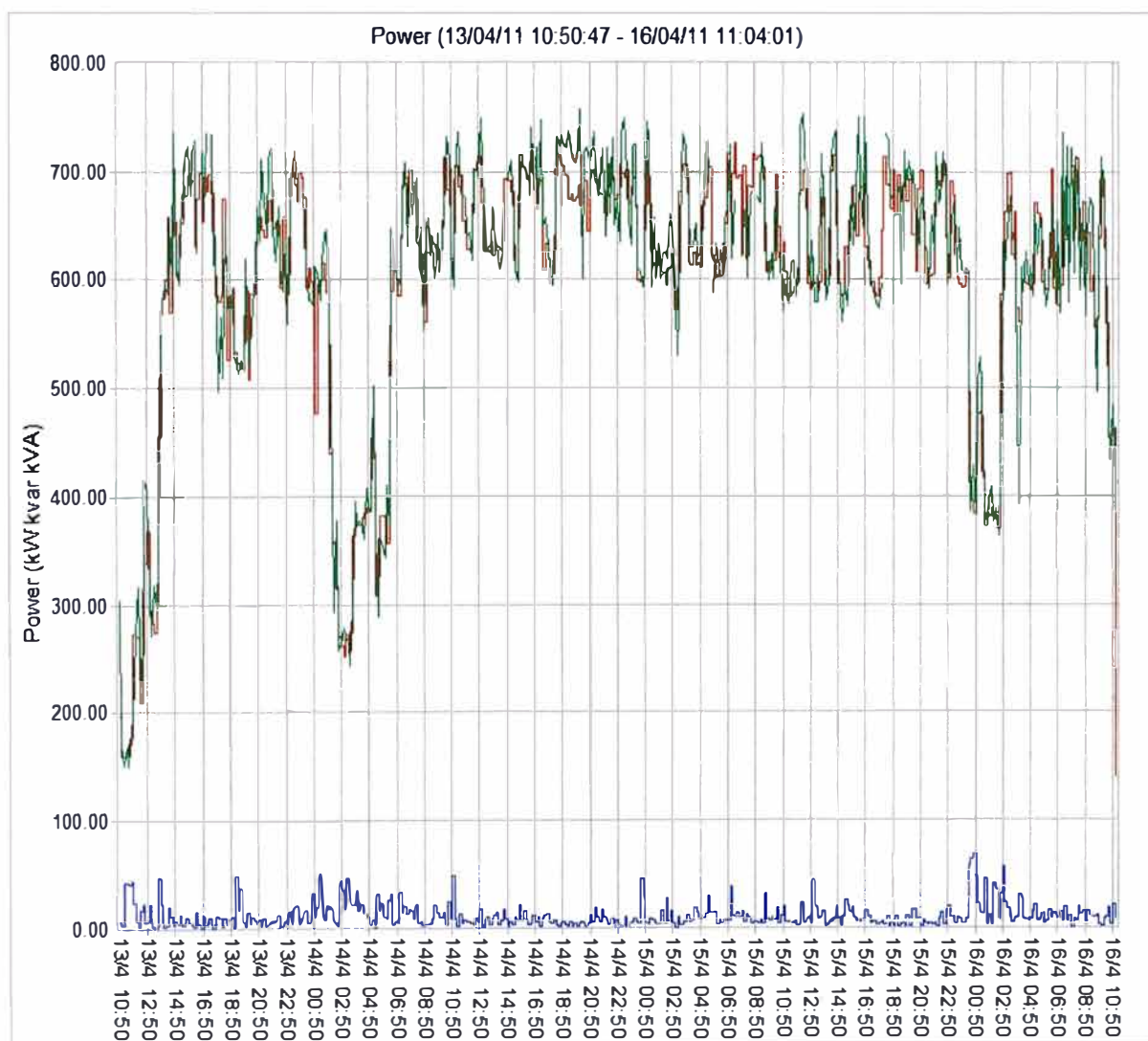


Fig. 3.79 Potencia aparente (verde), Activa (rojo), Reactiva (azul)

### 3.8.5 Datos de Factor de Potencia.

Tabla 3.79 Niveles del factor de potencia

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
<b>1</b>	<b>0.97</b>	<b>1</b>



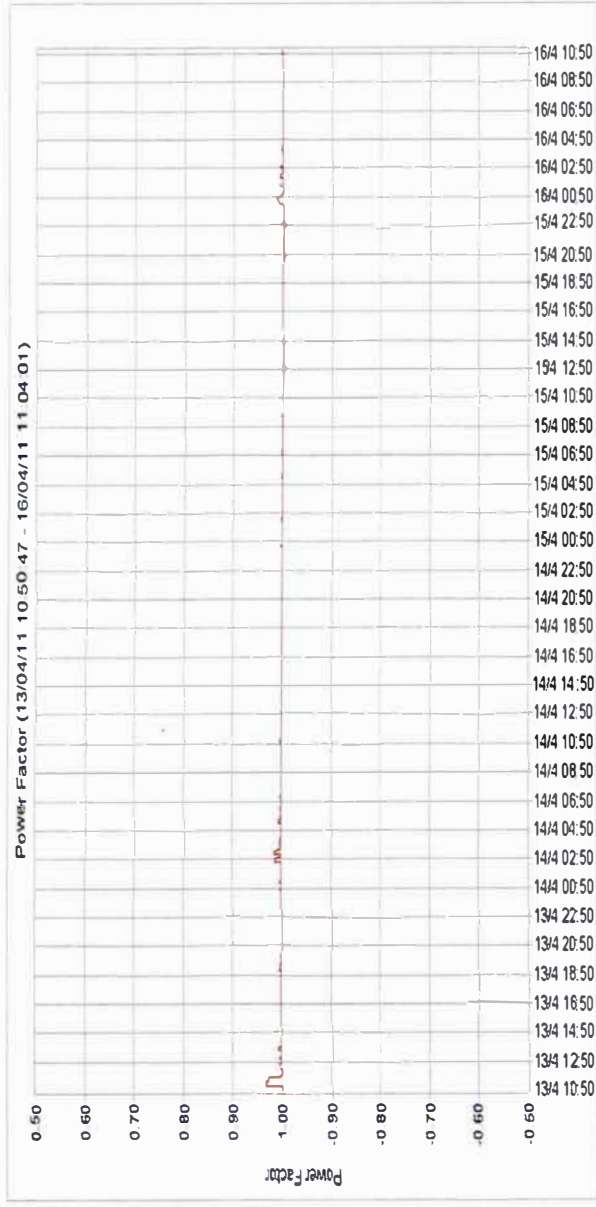


Fig. 3.80 Factor de Potencia.

3.8.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.80 Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
I(CH1)	971	760.86
I(CH2)	974.6	777.25
I(CH3)	971.3	774.36

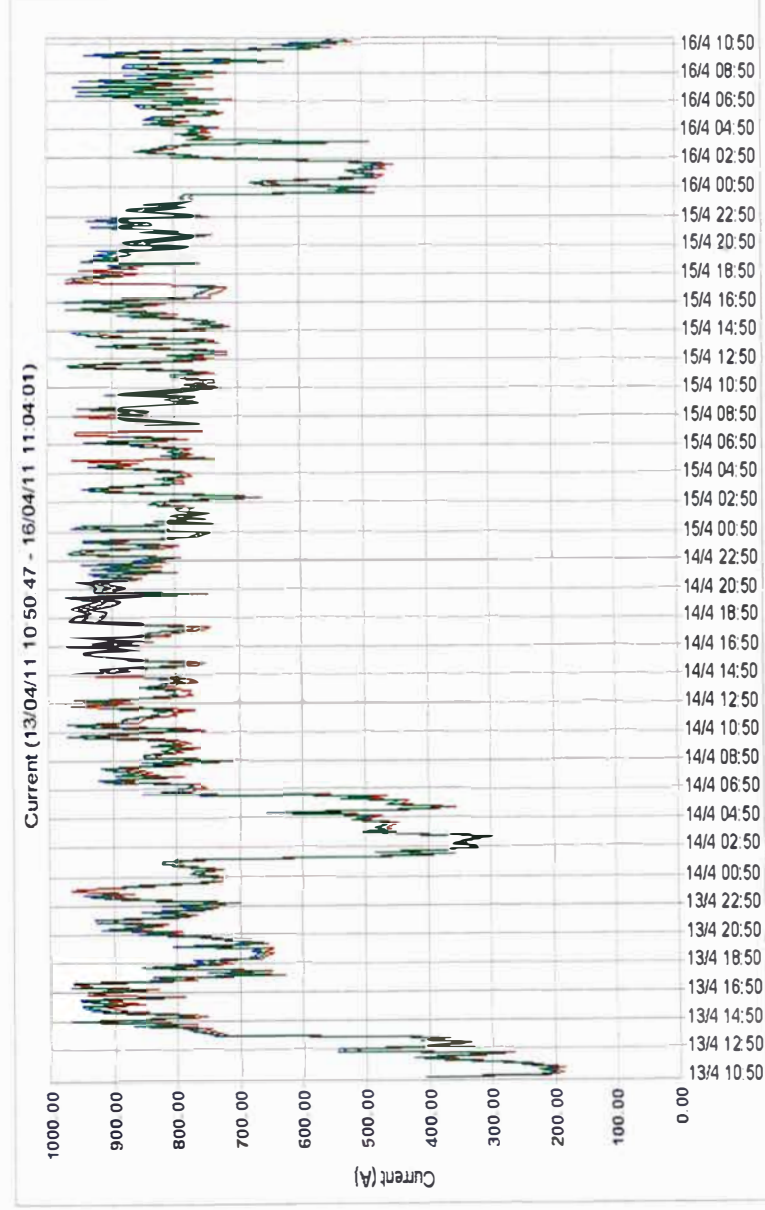
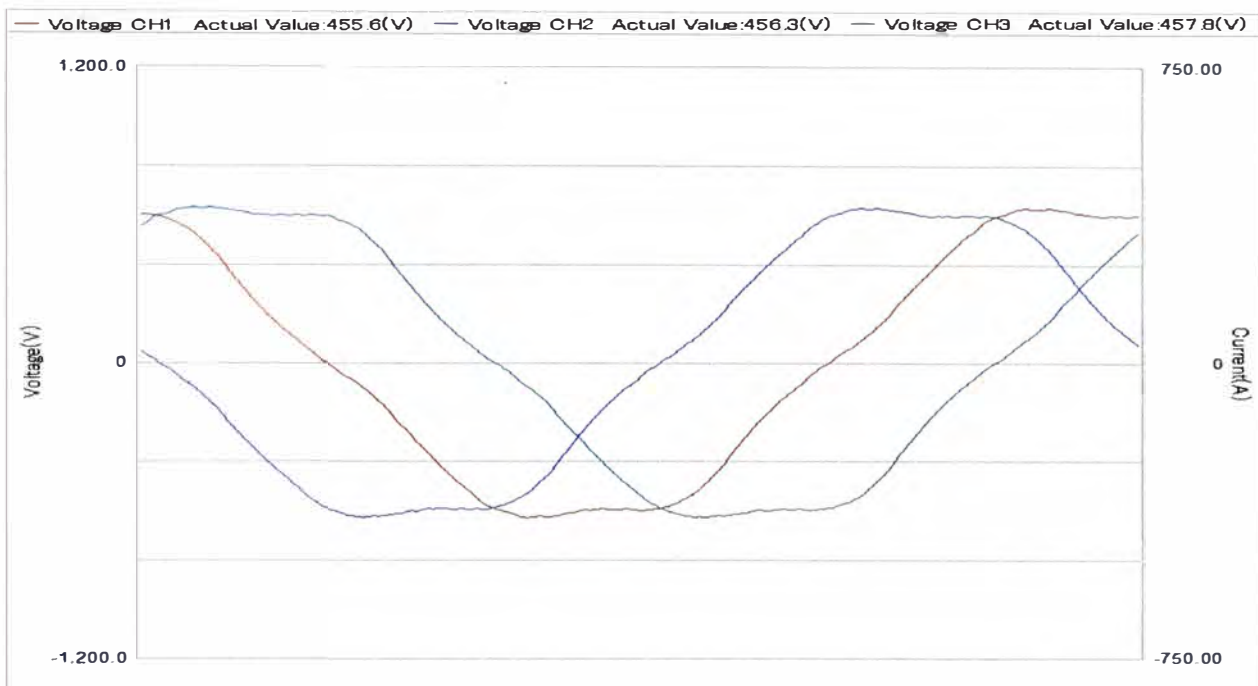
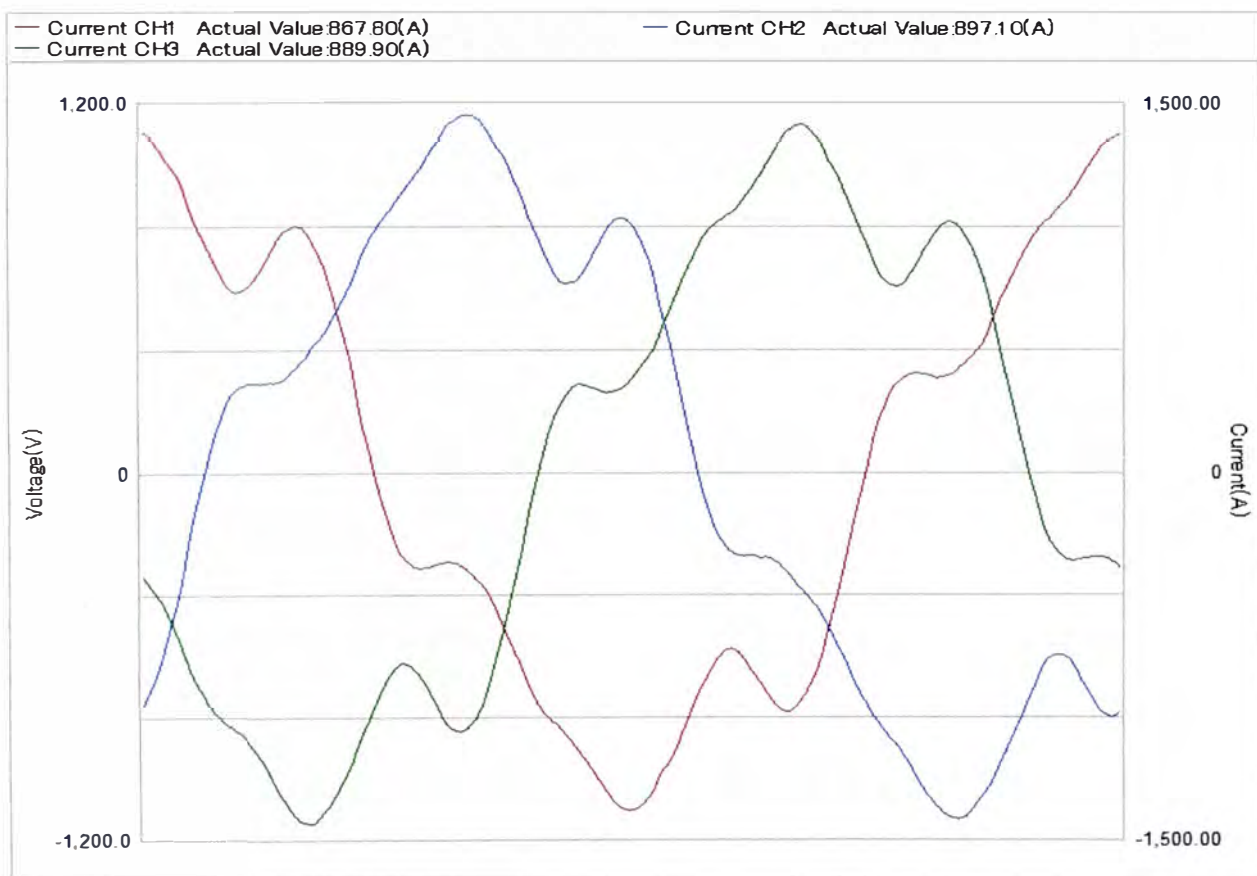


Fig. 3.81 Corriente ICH1 (rojo), ICH2 (azul), ICH3 (verde)

### 3.8.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.82** Formas de Onda de tensión Distorsionadas.



**Fig. 3.83** Formas de Onda de Corriente Distorsionadas.

### 3.9 Datos Registrados en la Subestación N° 4

Tabla 3.81 Datos de la Subestación N°4

Subestación	Sistema	ITM	Código de Medición
N°4	240kV,3Ø,60Hz	800A	SE_N4

#### 3.9.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.82 Nivel tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
NTCSE ( $\pm 5\%V_n$ )			252	228
V(CH1)	242.7	232.6	CUMPLE	CUMPLE
V(CH2)	242.4	231.8	CUMPLE	CUMPLE
V(CH3)	242.1	231.5	CUMPLE	CUMPLE

Fig. 3.84 Nivel de Tensión

#### 3.9.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.83 Nivel de frecuencia permitida

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
NTCSE ( $\Delta f_k\%: \pm 0.6\%F_n$ )			60.36	59.64
-	60.44	59.66	NO CUMPLE	CUMPLE

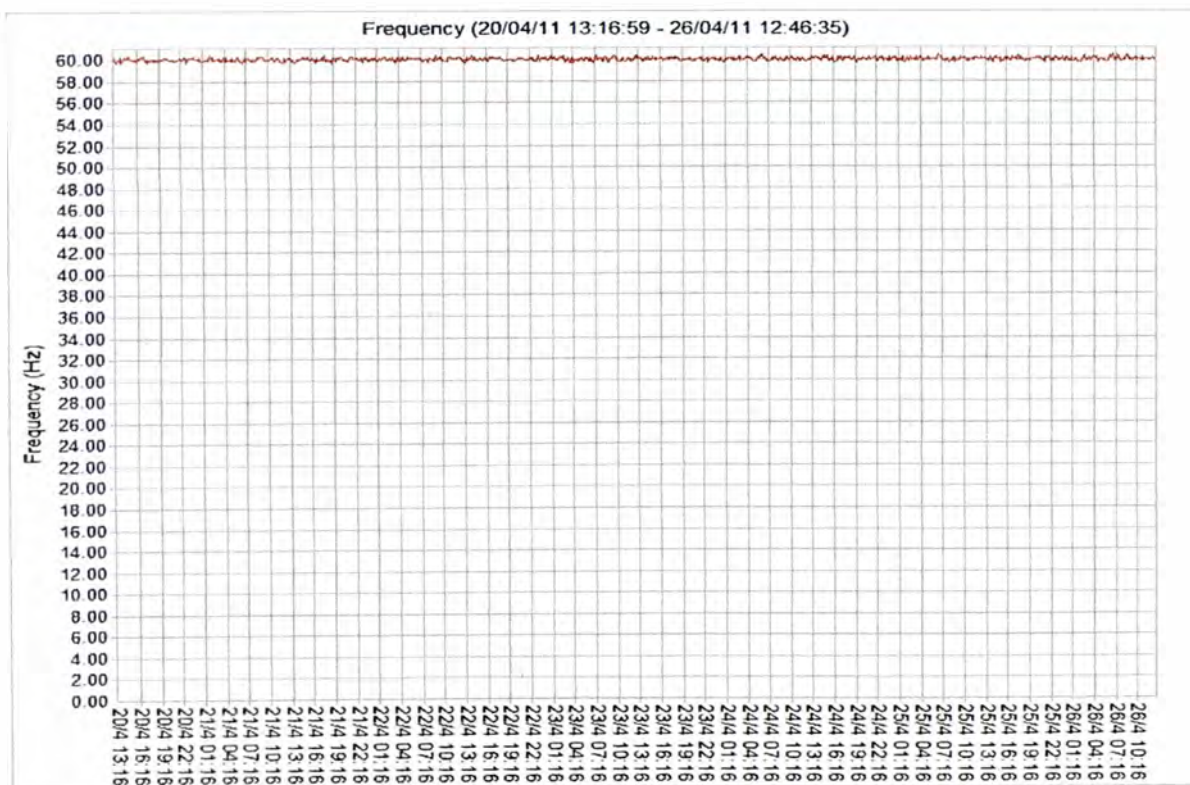


Fig. 3.85 Gráfica de la Frecuencia

### 3.9.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.84** Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>35kA</b>	<b>124.27</b>	<b>281</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.85** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(CH1)	25/04/2011 19:46 a 25/04/2011 20:46	<b>39.4%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	22/04/2011 17:56 a 22/04/2011 18:56	<b>47.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	25/04/2011 19:46 a 25/04/2011 20:46	<b>35.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.86** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(CH1)	23/04/2011 17:36	<b>46.6%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	22/04/2011 17:56	<b>60%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	20/04/2011 17:46	<b>46.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

**Tabla 3.87** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

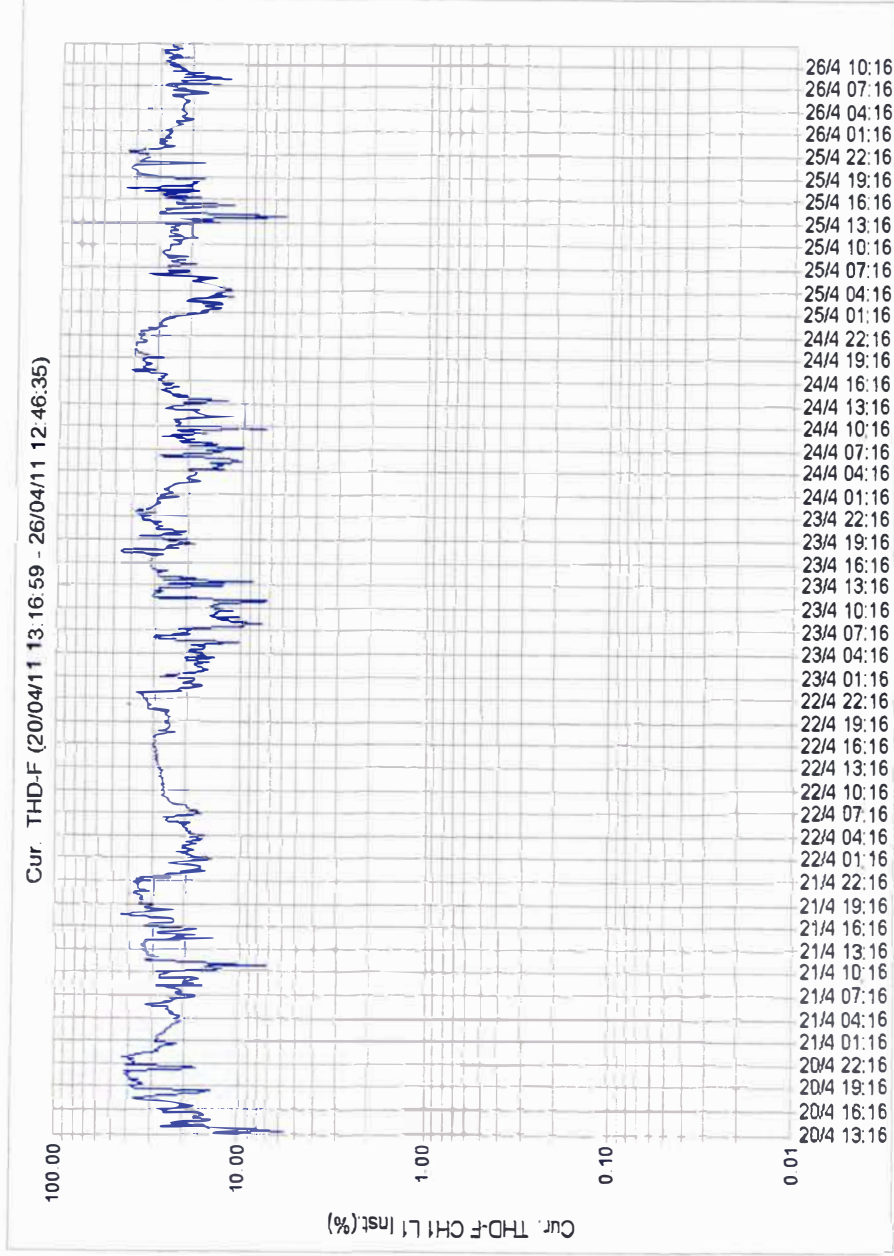


Fig. 3.86 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH1 (THDI-CH1)

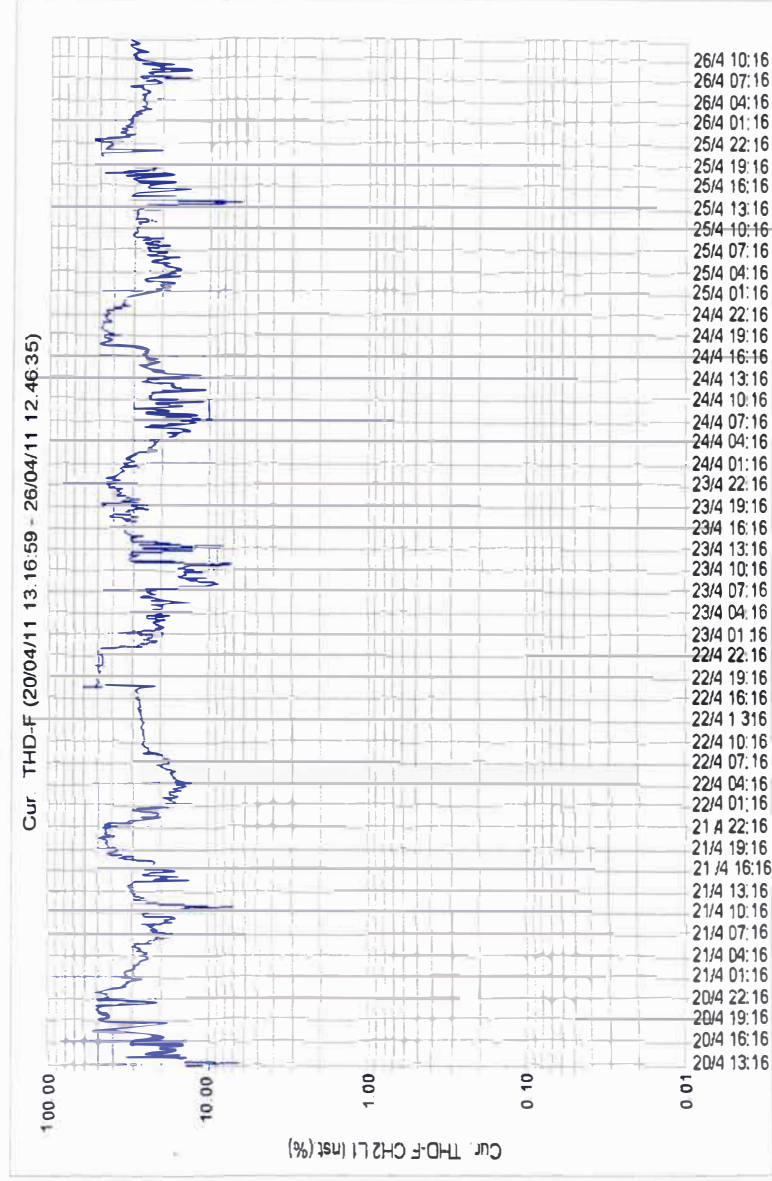
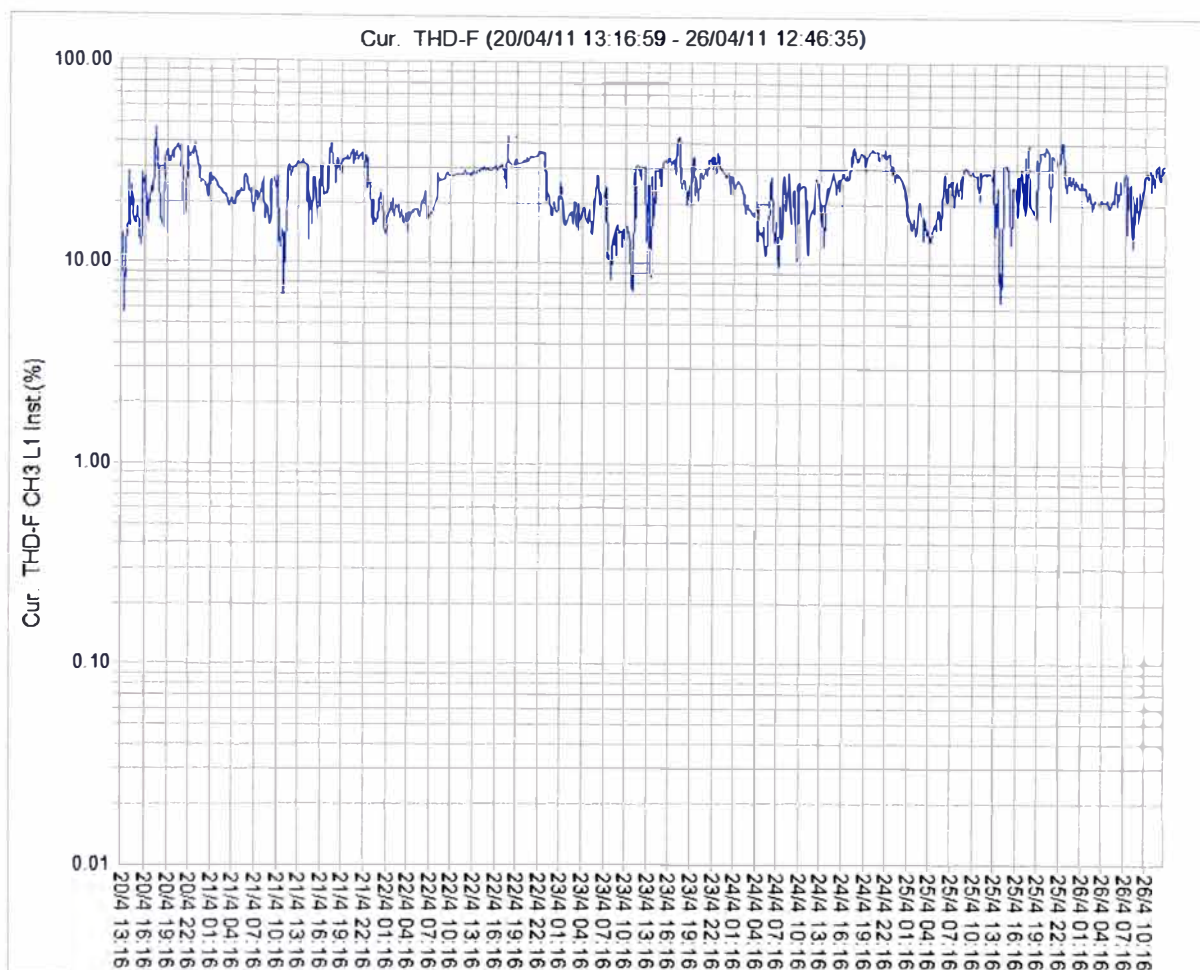


Fig. 3.87 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH2 (THDI-CH2)



**Fig. 3.88** Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH3 (THDI-CH3)

**A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)**

**Tabla 3.88** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(CH1)	25/04/2011 21:36 a 25/04/2011 22:36	<b>5.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH2)	23/04/2011 16:46 a 23/04/2011 17:46	<b>5.5%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
I(CH3)	23/04/2011 16:36 a 23/04/2011 17:36	<b>5.7%</b>	<b>NO CUMPLE</b>

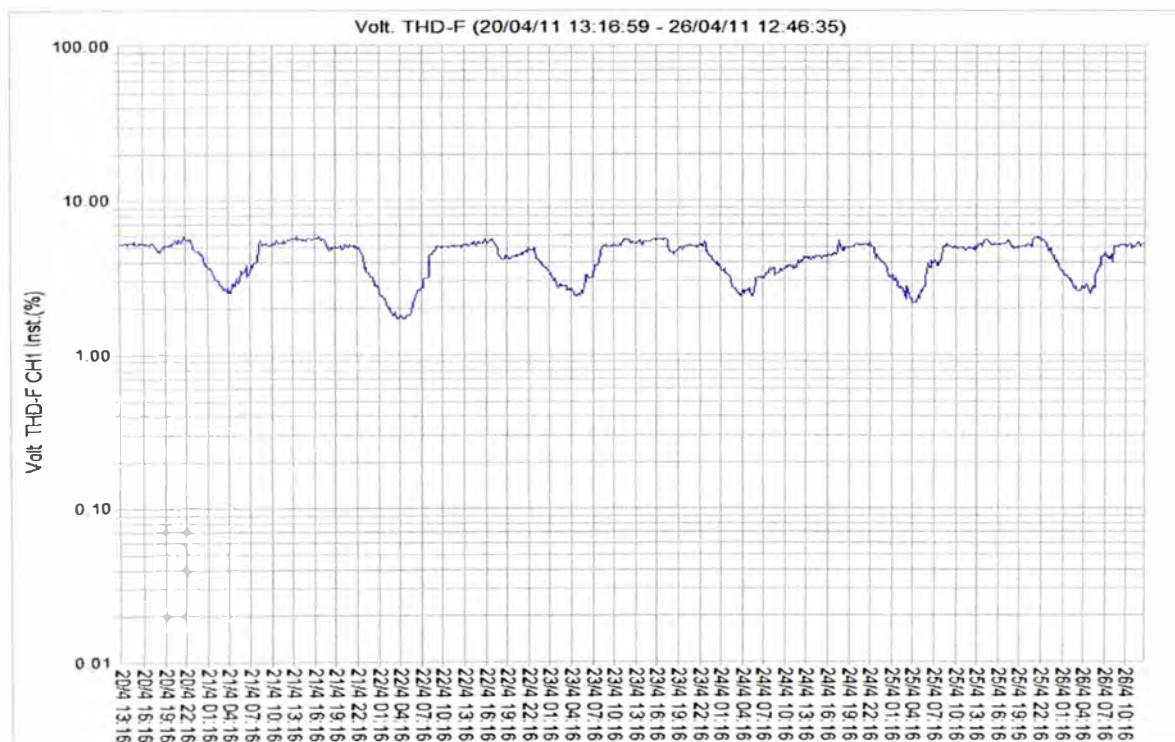
**Tabla 3.89** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(CH1)	20/04/2011 21:56	<b>5.8%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	21/04/2011 16:56	<b>5.8%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	21/04/2011 13:46	<b>5.8%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.90** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>CH1</b>	20/04/2011 21:56	0%	5.8%	0.7 %	0%	0%
<b>CH2</b>	21/04/2011 16:56	0%	5.8%	0.6 %	0%	0%
<b>CH3</b>	21/04/2011 13:46	0%	5.8%	0.7 %	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3.89** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH1 (THDV-CH1)

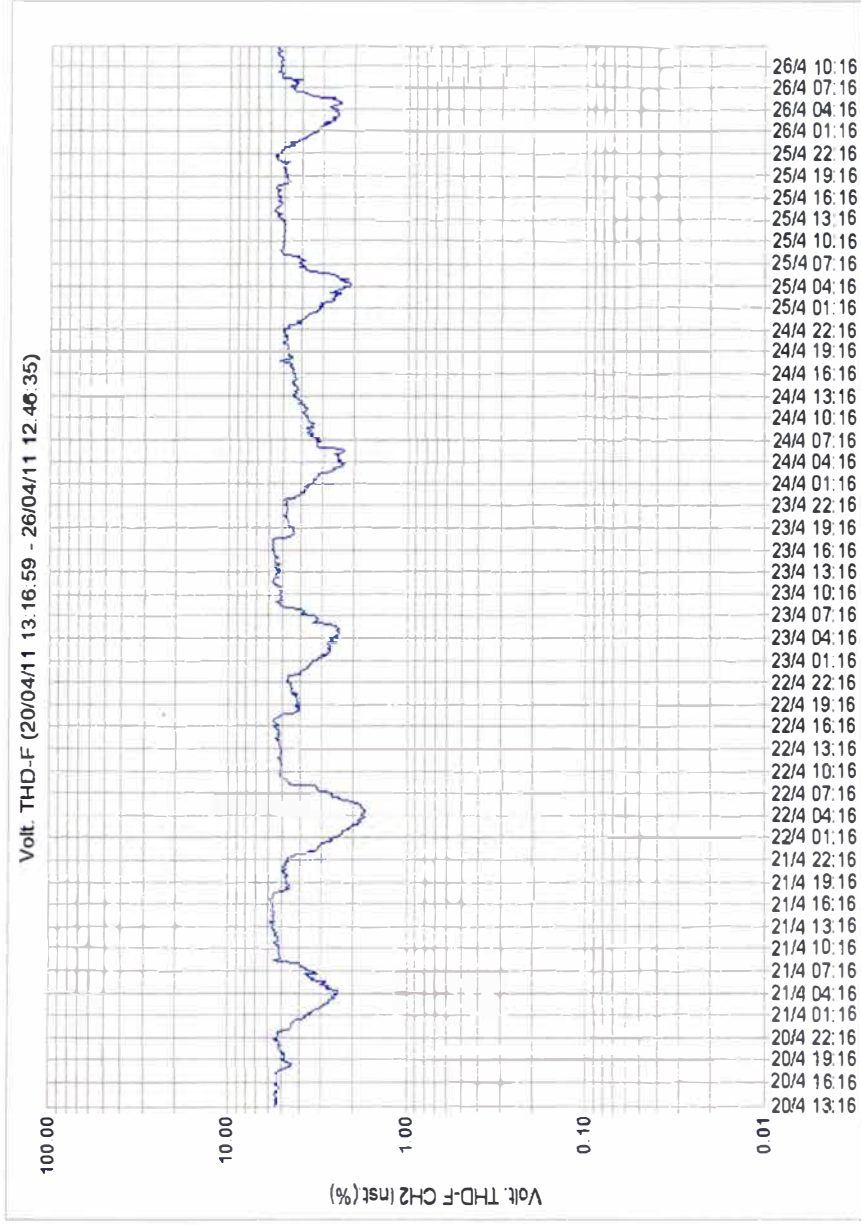


Fig. 3.90 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH2 (THDV-CH2)

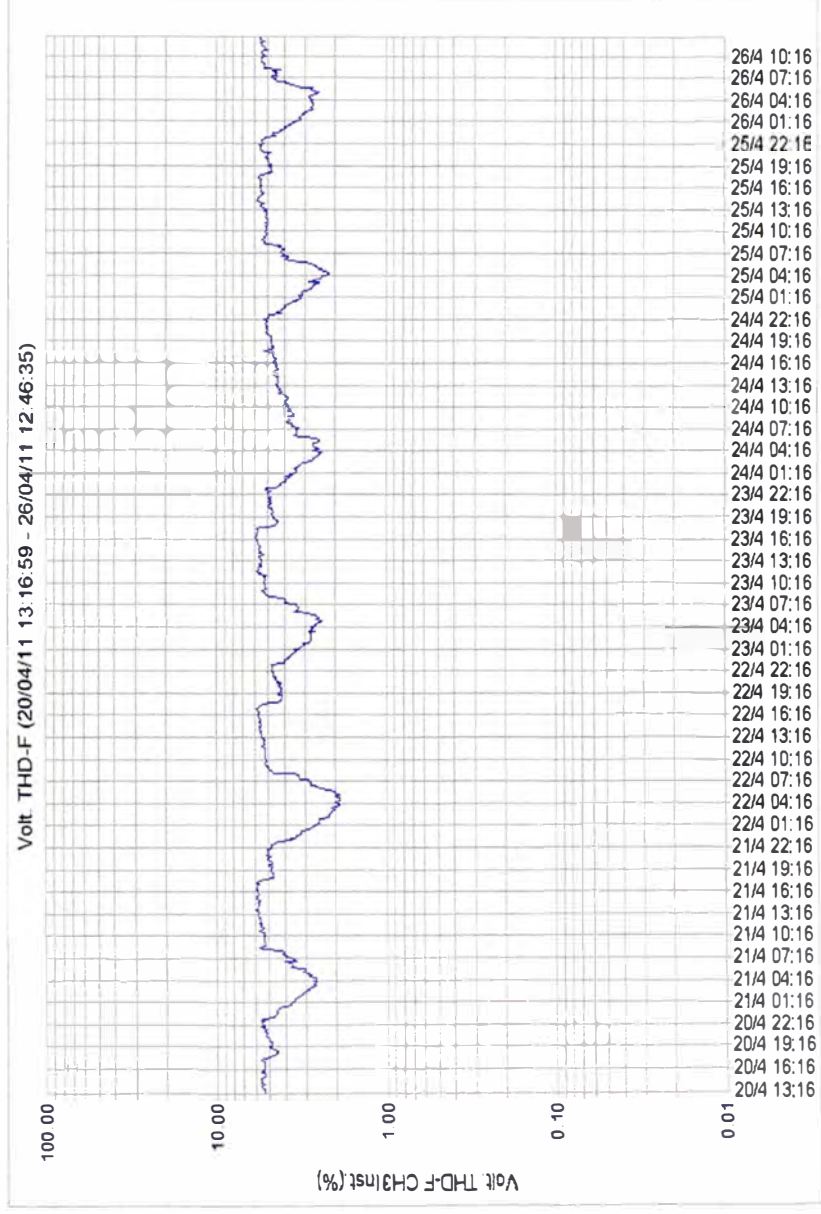


Fig. 3.91 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH3 (THDV-CH3)



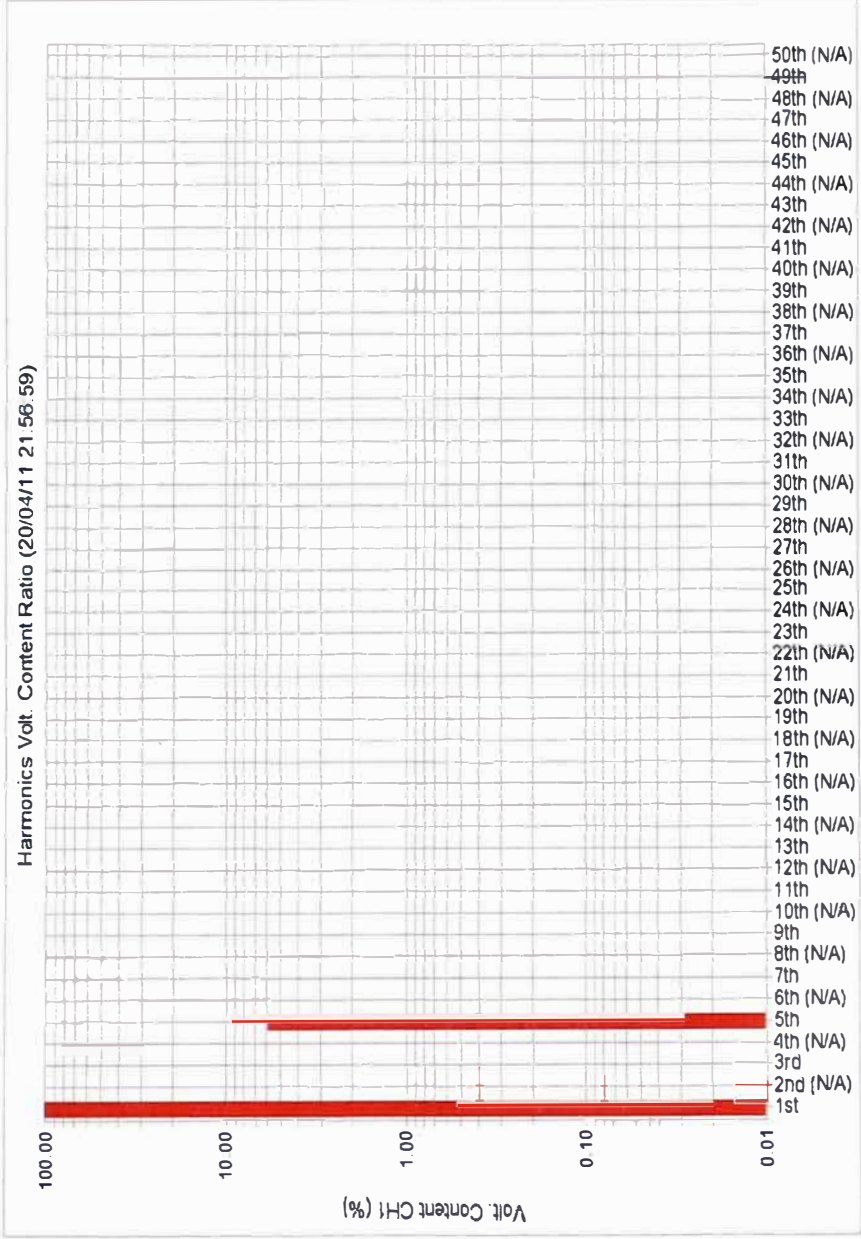


Fig. 3.92 Armónicos de Tensión individuales CH1 (THDV-CH1)

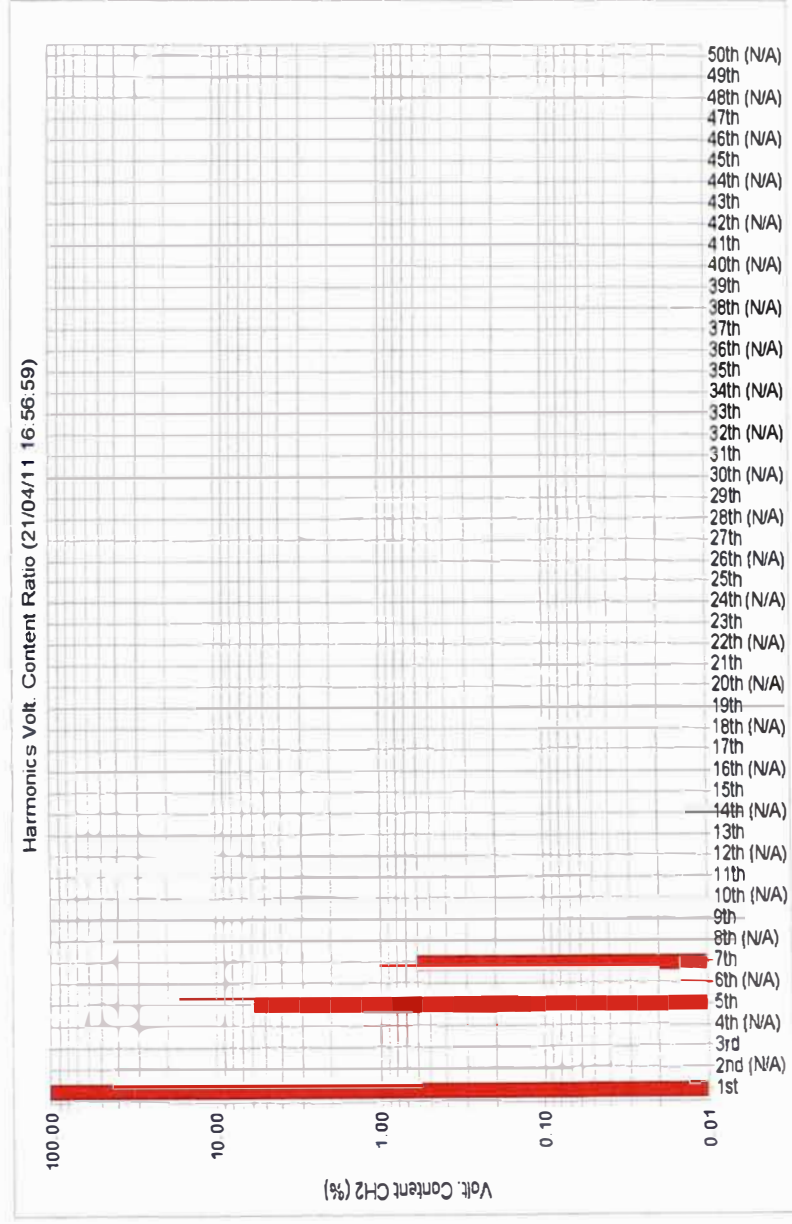


Fig. 3.93 Armónicos de Tensión individuales CH2 (THDV-CH2)

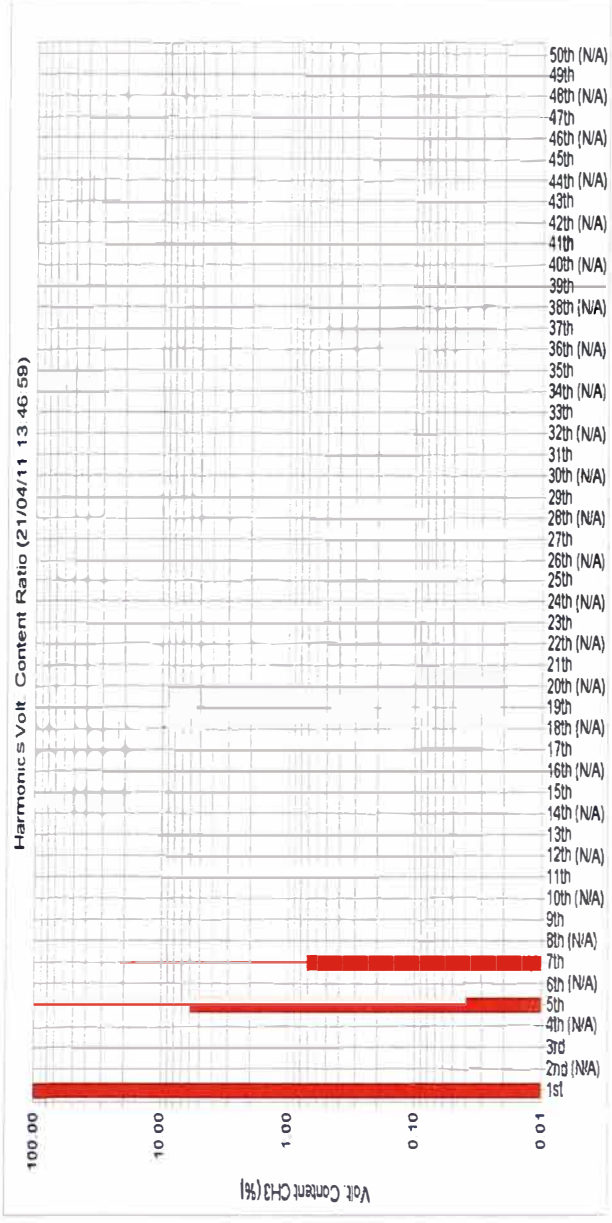


Fig. 3.94 Armónicos de Tensión individuales CH3 (THDV-CH3)

3.9.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.91 Demanda máxima de las potencias

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
127	7.9	129.40

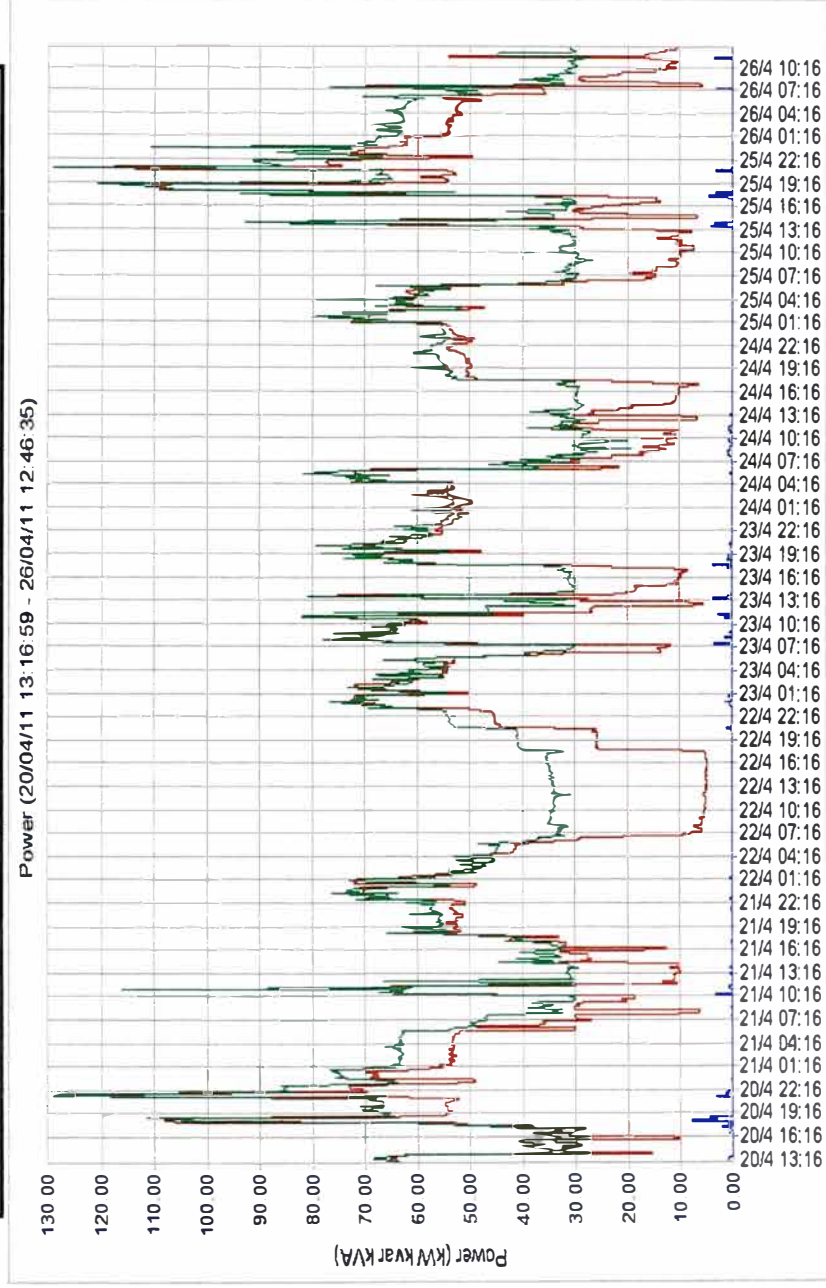


Fig. 3.95 Potencia Aparente (verde), Activa (rojo), Reactiva (azul)

3.9.5 Datos de Factor de Potencia.

Tabla 3.92 Niveles del factor de potencia

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
1	1	1

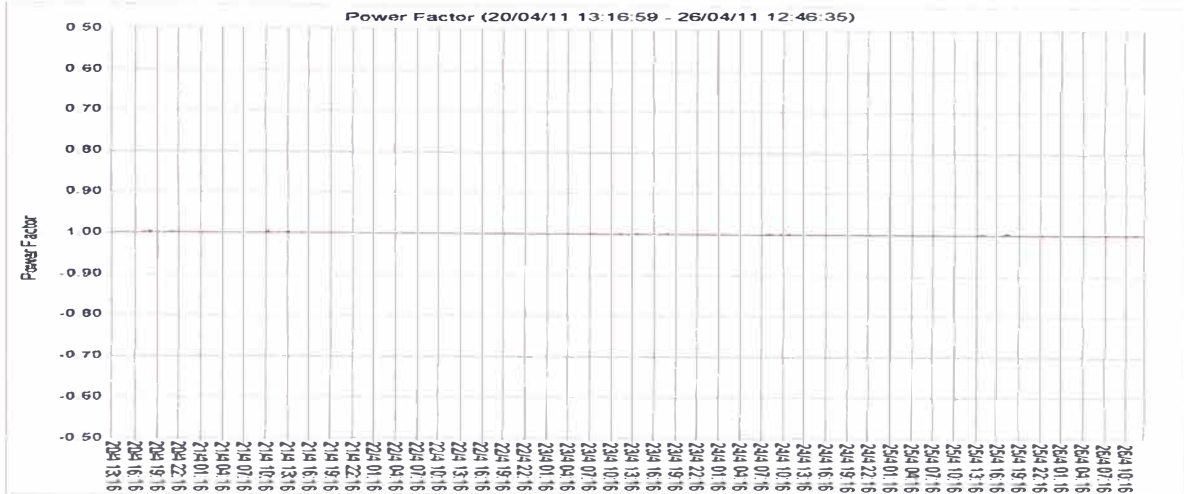


Fig. 3.96 Factor de Potencia

3.9.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.93 Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
I(CH1)	302.4	119.53
I(CH2)	325.7	126.11
I(CH3)	319.8	127.19

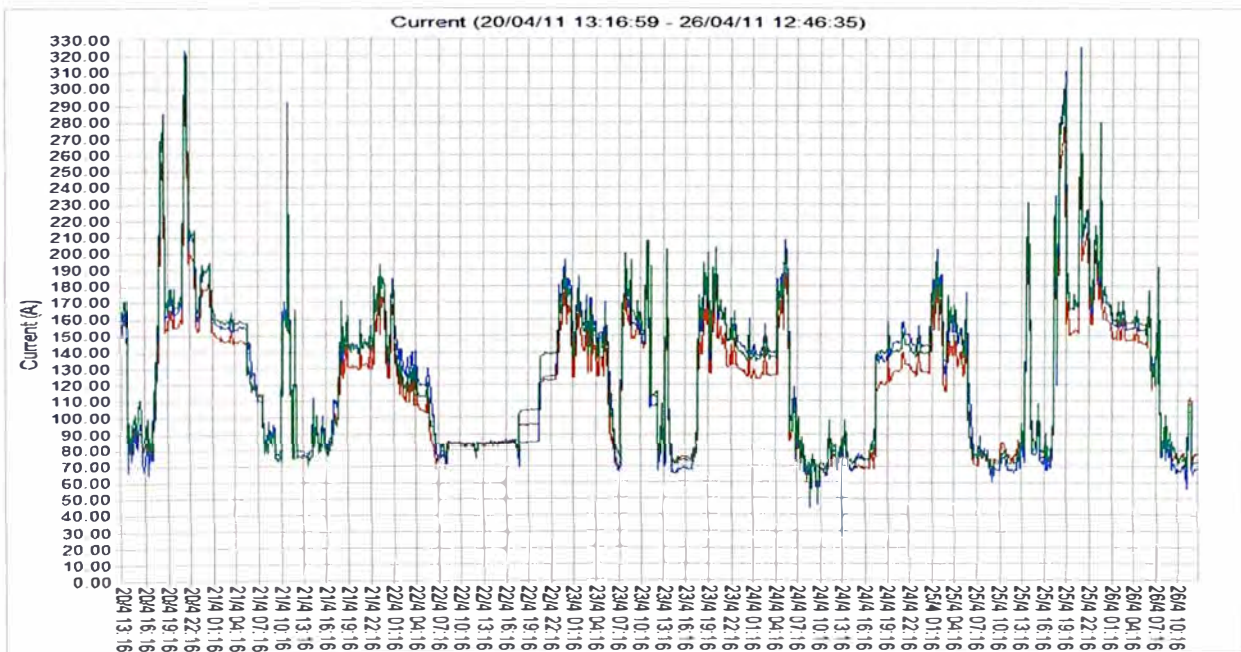
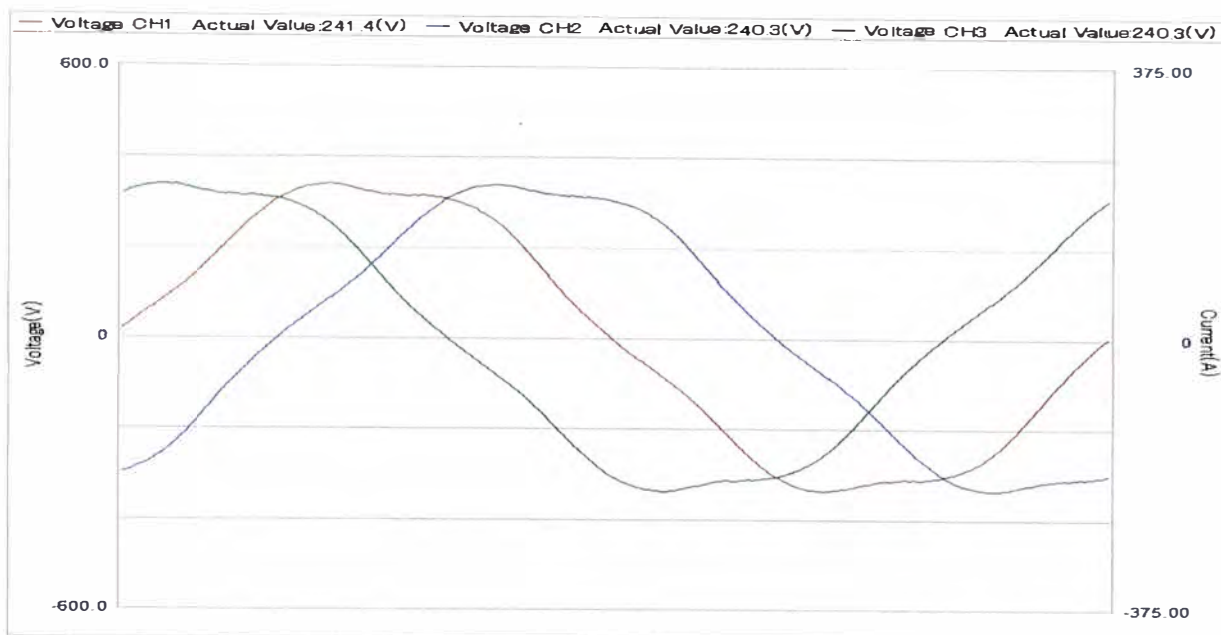
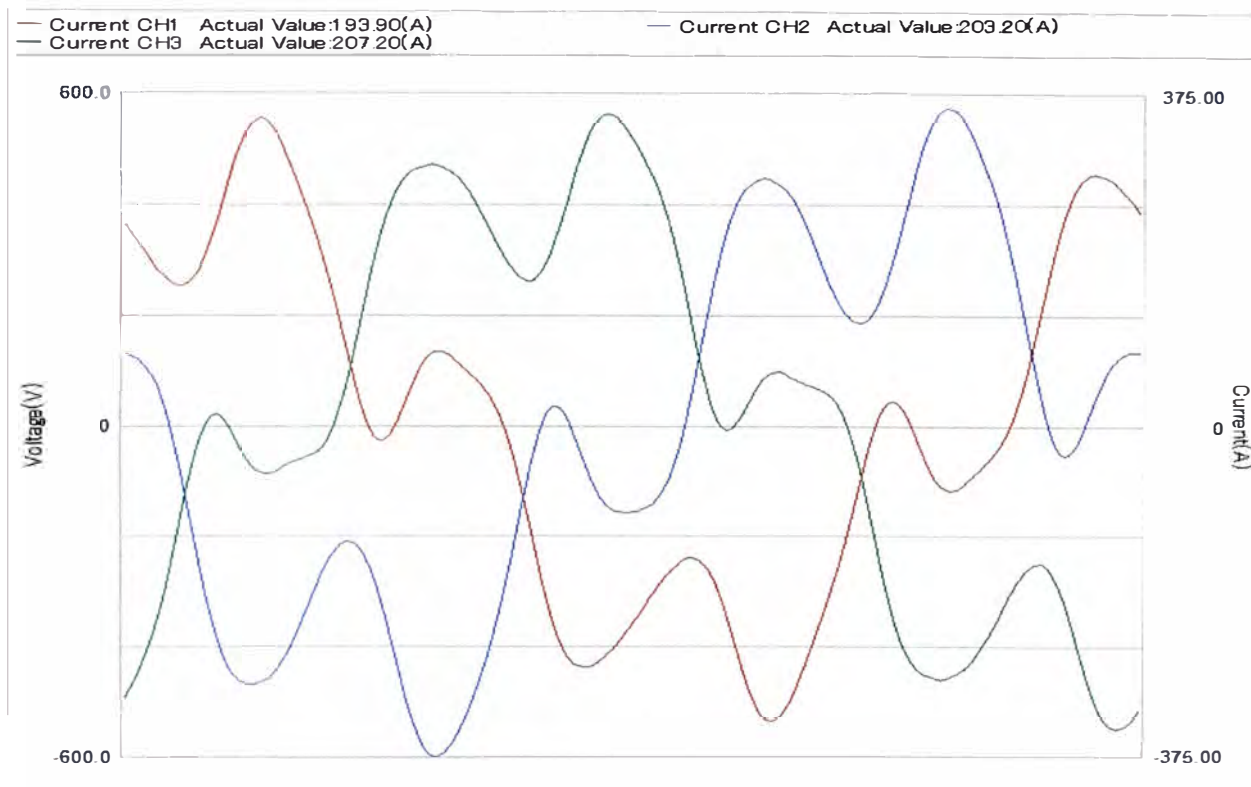


Fig. 3.97 Corriente ICH1 (rojo), ICH2 (azul), ICH3 (verde)

### 3.9.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.98** Formas de Onda de tensión Distorsionadas



**Fig. 3.99** Formas de Onda de Corriente Distorsionadas

### 3.10 Datos Registrados en la Subestación N° 5 (Transformador 1)

**Tabla 3.94** Datos de la Subestación N°5

Subestación	Sistema	ITM	Transformador	Código de Medición
N°5	460V,3Ø	MERLIN	Marca: ABB	SE_5_T1

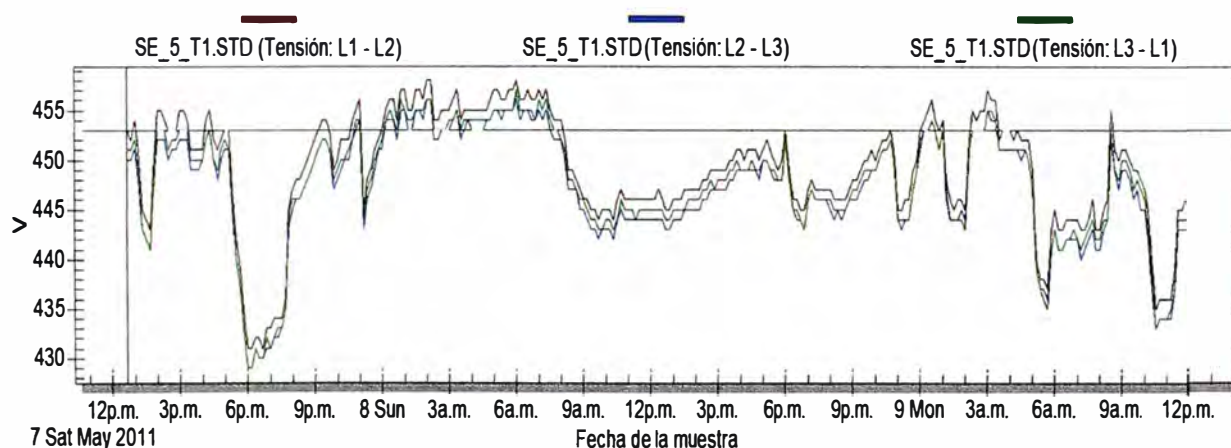
	,60Hz	GERIN 1250A	Serie: 190465-01 Tensión: 10/0.46kV Potencia:640kVA Grupo conexión: Dyn5	
--	-------	----------------	---	--

### 3.10.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.95 nivel tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
<b>NTCSE (<math>\pm 5\%V_n</math>)</b>			483	437
V(L1-L2)	458	431	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L2-L3)	456	429	CUMPLE	NO CUMPLE
V(L1-L3)	457	429	CUMPLE	NO CUMPLE

#### MULTIGRÁFICA



Act : 07/05/2011 12:40:15  
Act : 453 (V)

Variable Seleccionada: SE\_5\_T1.STD (Tensión: L1 - L2)  
Desde : 07/05/2011 12:40:15  
Máx : 458 (V)

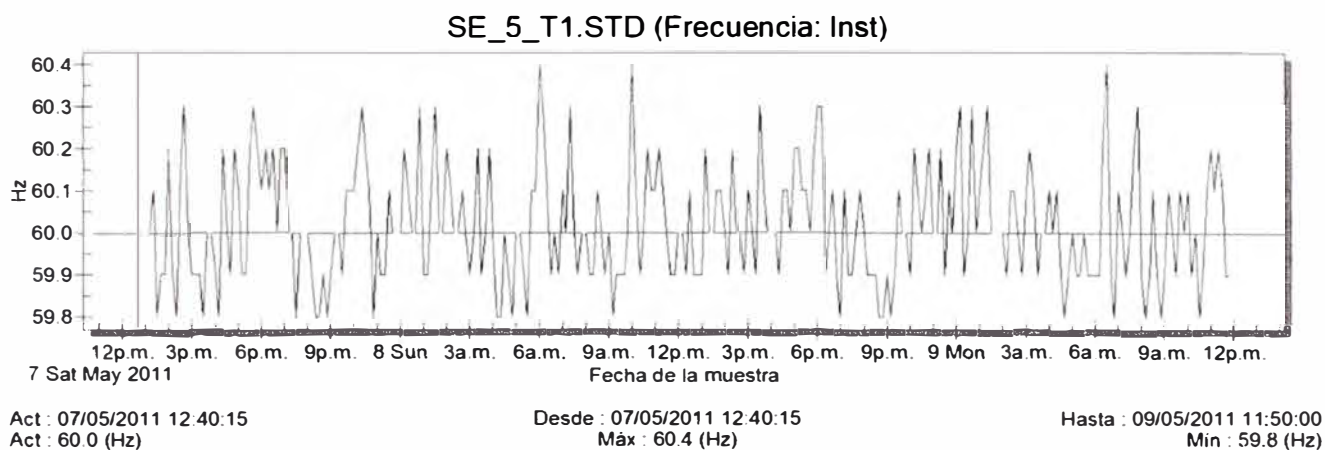
Hasta : 09/05/2011 11:50:00  
Min : 431 (V)

Fig. 3.100 Nivel de Tensión

### 3.10.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.96 Niveles de frecuencia permitido

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
<b>NTCSE (Afk%: <math>\pm 0.6\%F_n</math>)</b>			60.36	59.64
-	60.4	59.8	NO CUMPLE	CUMPLE



**Fig. 3.101 Niveles de Frecuencia.**

### 3.10.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.97** Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>142</b>	<b>457.7</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.  
 ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.98** Tasa de distorsión armónica de corriente  
 (Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(L1)	07/05/2011 22:00 a 07/05/2011 23:00	<b>9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	07/05/2011 22:00 a 07/05/2011 23:00	<b>8.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	07/05/2011 22:00 a 07/05/2011 23:00	<b>7.7%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.99** Tasa de distorsión armónica de corriente  
 (Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(L1)	07/05/2011 22:50	<b>13.9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	07/05/2011 22:50	<b>14.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	30/04/2011 16:40	<b>14.3%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.100** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

**B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)**

**Tabla 3.101** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(L1)	07/05/2011 16:30 a 07/05/2011 17:30	<b>4.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	07/05/2011 16:10 a 07/05/2011 17:10	<b>4.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	07/05/2011 16:40 a 07/05/2011 17:40	<b>4.3%</b>	<b>CUMPLE</b>

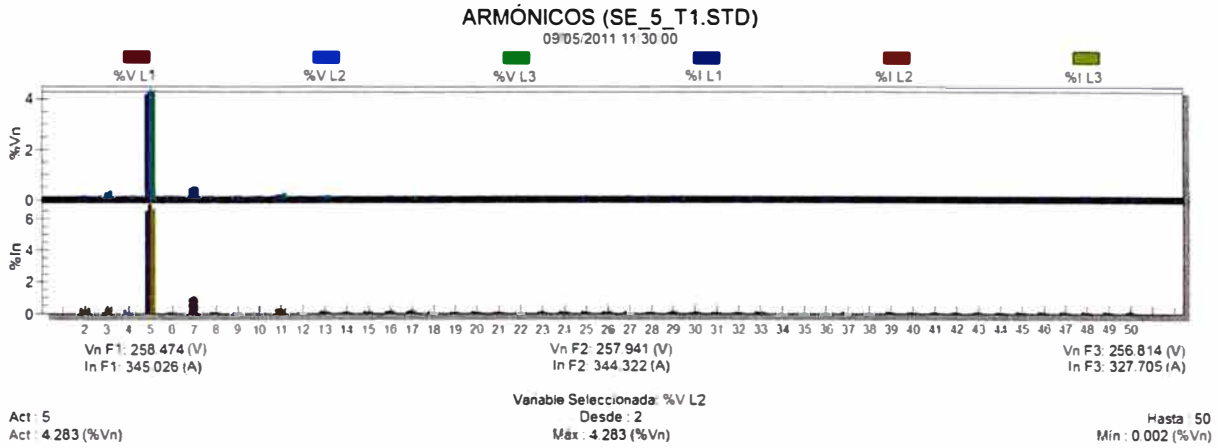
**Tabla 3.102** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(L1)	07/05/2011 16:30	<b>4.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L2)	07/05/2011 16:10	<b>4.9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(L3)	07/05/2011 17:20	<b>4.8%</b>	<b>CUMPLE</b>

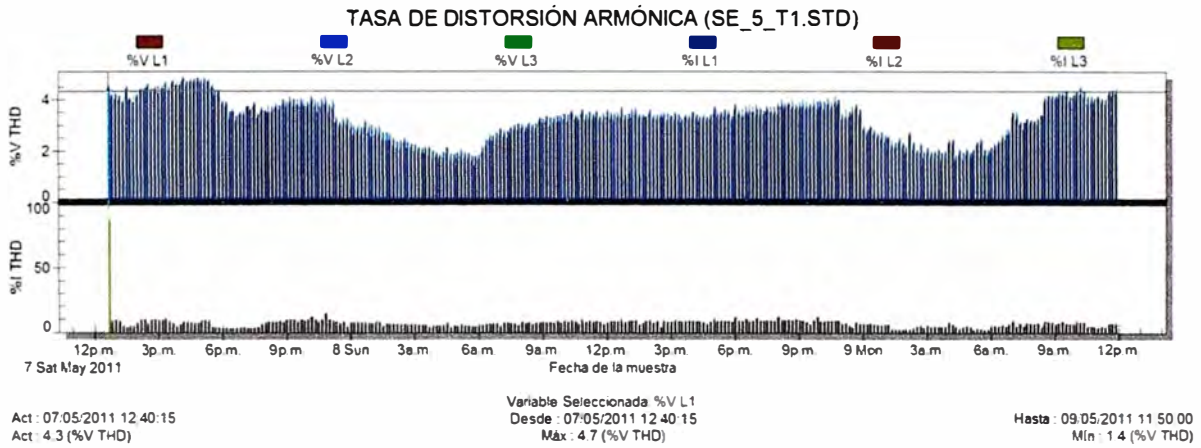
**Tabla 3.103** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN	3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>	3%	3%	3%	3%	3%
<b>L1</b>	09/05/2011 11:30	0%	4.6%	0%	0%
<b>L2</b>	09/05/2011 11:30	0%	4.6%	0%	0%
<b>L3</b>	09/05/2011 11:30	0%	4.6%	0%	0%
	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig.3.102 Armónicos individuales**



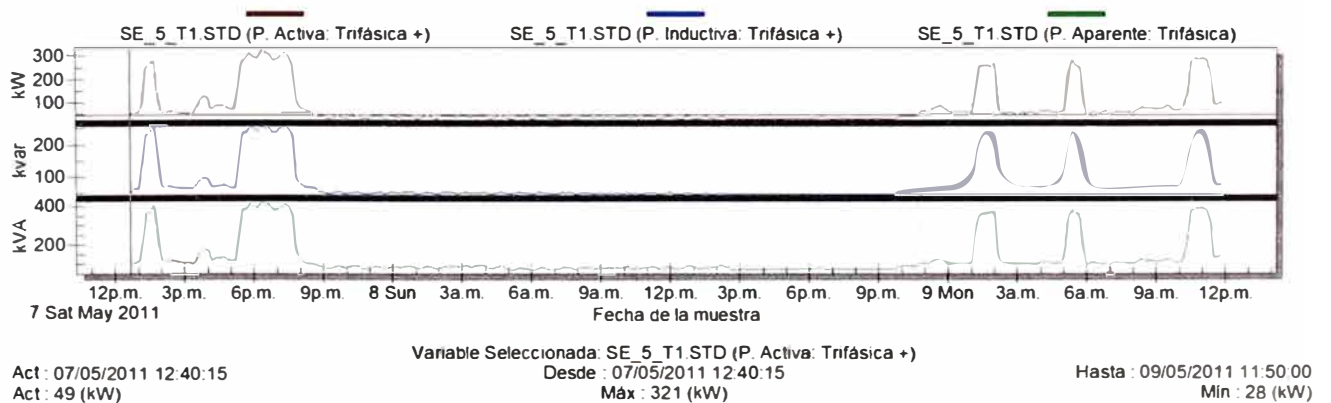
**Fig. 3.103 Tasa de niveles de Armónicos.**

**3.10.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)**

**Tabla 3.104 Demanda máximas de las potencias**

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
<b>321</b>	<b>256</b>	<b>411</b>

**MULTIGRÁFICA**



**Fig. 3.104 Diagrama de carga.**



### 3.10.5 Datos de Factor de Potencia.

Tabla 3.105 Niveles del factor de potencia

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
<b>0.8</b>	<b>0.52</b>	<b>0.64</b>

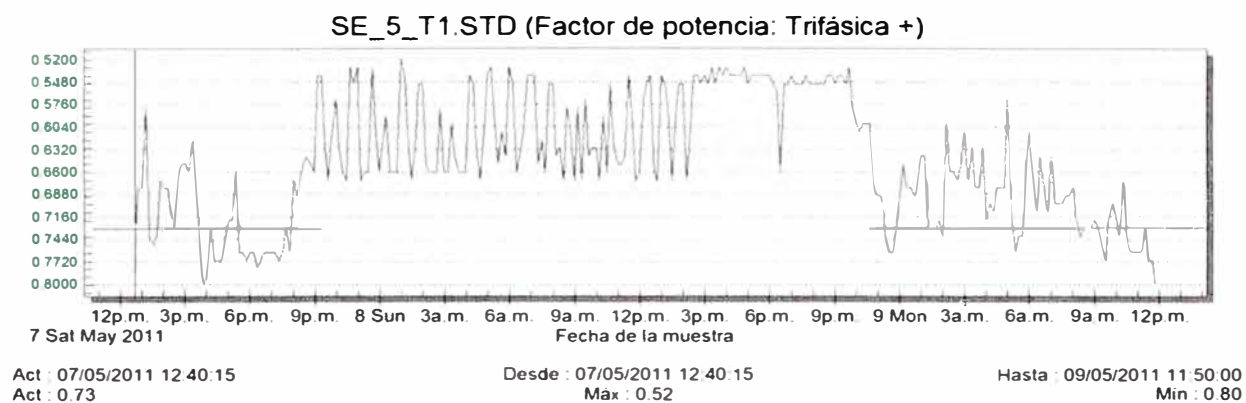


Fig. 3.105 Factor de Potencia.

### 3.10.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.106 Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
<b>L1</b>	<b>559</b>	<b>144.9</b>
<b>L2</b>	<b>559</b>	<b>144.38</b>
<b>L3</b>	<b>553</b>	<b>136.89</b>

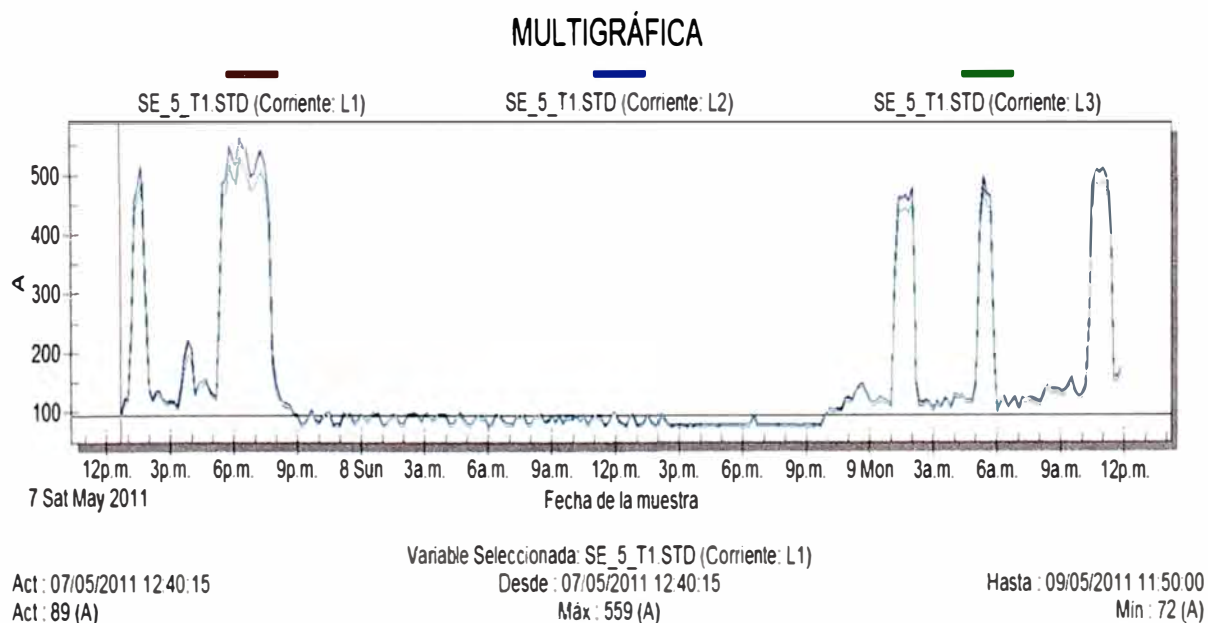
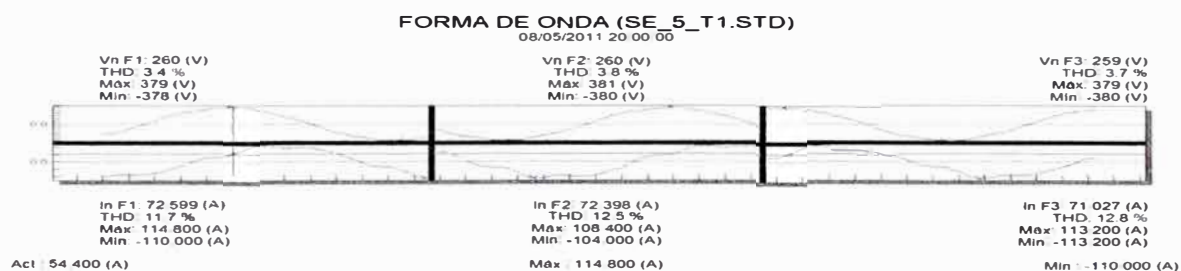
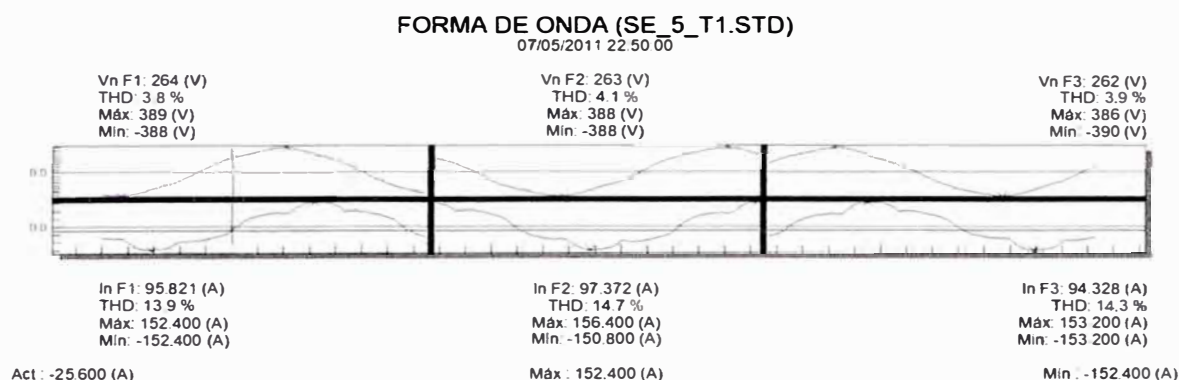


Fig.3.106 Corrientes por Fases.

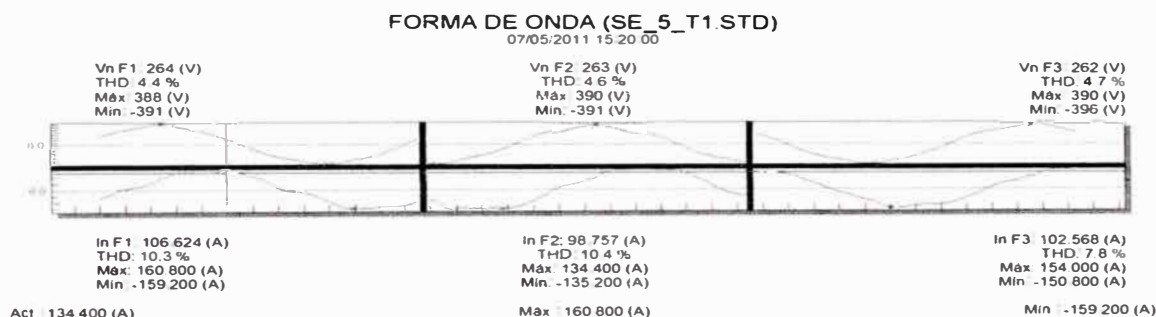
### 3.10.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.107 Formas de onda a las 20:00 pm.**



**Fig. 3.108 Formas de onda a las 22:50 pm.**



**Fig. 3.109 Formas de onda a las 15:20 pm.**

### 3.11 Datos Registrados en la Subestación N° 5 (Transformador 2)

**Tabla 3.107 Datos de la Subestación N°5**

Subestación	Sistema	ITM	Transformador	Código de Medición
N°5	460V, 3Ø, 60Hz	SCHNEIDER 1000A	Marca: Delcrosa Serie: 144223-T1 Tensión: 10/0.46kV Potencia: 640kVA Grupo conexión: Dyn5	SE_5_T2

### 3.11.1 Datos de Tensión (Norma NTCSE)

Tabla 3.108 Nivel tensión permitido

FASES	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
NTCSE ( $\pm 5\%V_n$ )			483	437
V(CH1)	462.3	434.7	CUMPLE	NO CUMPLE
V(CH2)	463.9	436.2	CUMPLE	NO CUMPLE
V(CH3)	462.7	435.2	CUMPLE	NO CUMPLE

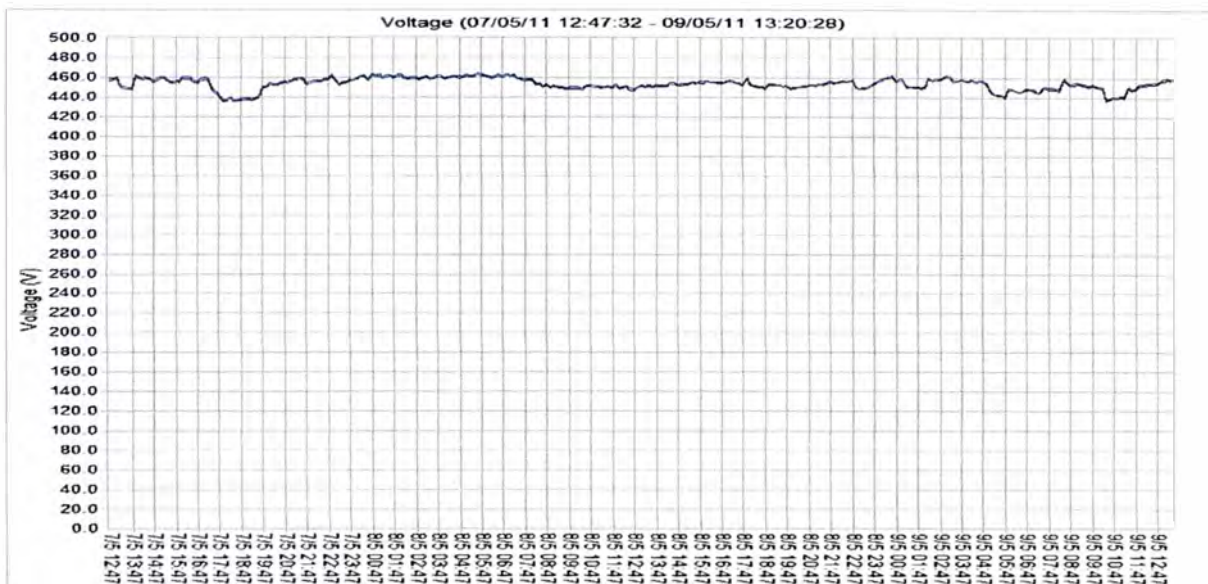


Fig. 3.110 Nivel de Tensión

### 3.11.2 Datos de Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 3.109 Nivel de frecuencia permitida

SISTEMA	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz)	MÍNIMO PERMITIDO(Hz)
NTCSE ( $Af_k\%: \pm 0.6\%F_n$ )			60.36	59.64
-	60.50	59.57	NO CUMPLE	NO CUMPLE

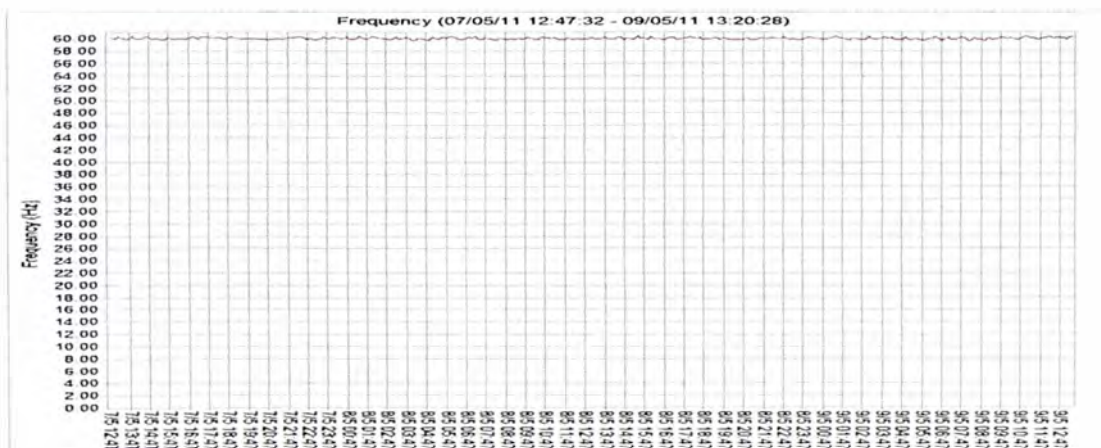


Fig. 3.111 Gráfica de la Frecuencia

### 3.11.3 Datos de las mediciones de Armónicos (Norma IEEE 519)

#### A ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE (THDI%)

**Tabla 3.110** Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
<b>65kA</b>	<b>140.2</b>	<b>463.6</b>

IL=corriente total a frecuencia fundamental.

ISC=corriente de cortocircuito

**Tabla 3.111** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>15%</b>
I(CH1)	07/05/2011 21:07 a 07/05/2011 22:07	<b>9.8%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	07/05/2011 21:07 a 07/05/2011 22:07	<b>10.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	08/05/2011 20:47 a 08/05/2011 21:47	<b>12%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.112** Tasa de distorsión armónica de corriente  
(Para condiciones con duración menor a 1 hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>22.5%</b>
I(CH1)	07/05/2011 22:07	<b>17.8%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	07/05/2011 22:07	<b>16.9%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	07/05/2011 22:07	<b>16.5%</b>	<b>CUMPLE</b>

**Tabla 3.113** Tasa de distorsión armónica de corriente  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ISC/IL	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	<b>NO CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

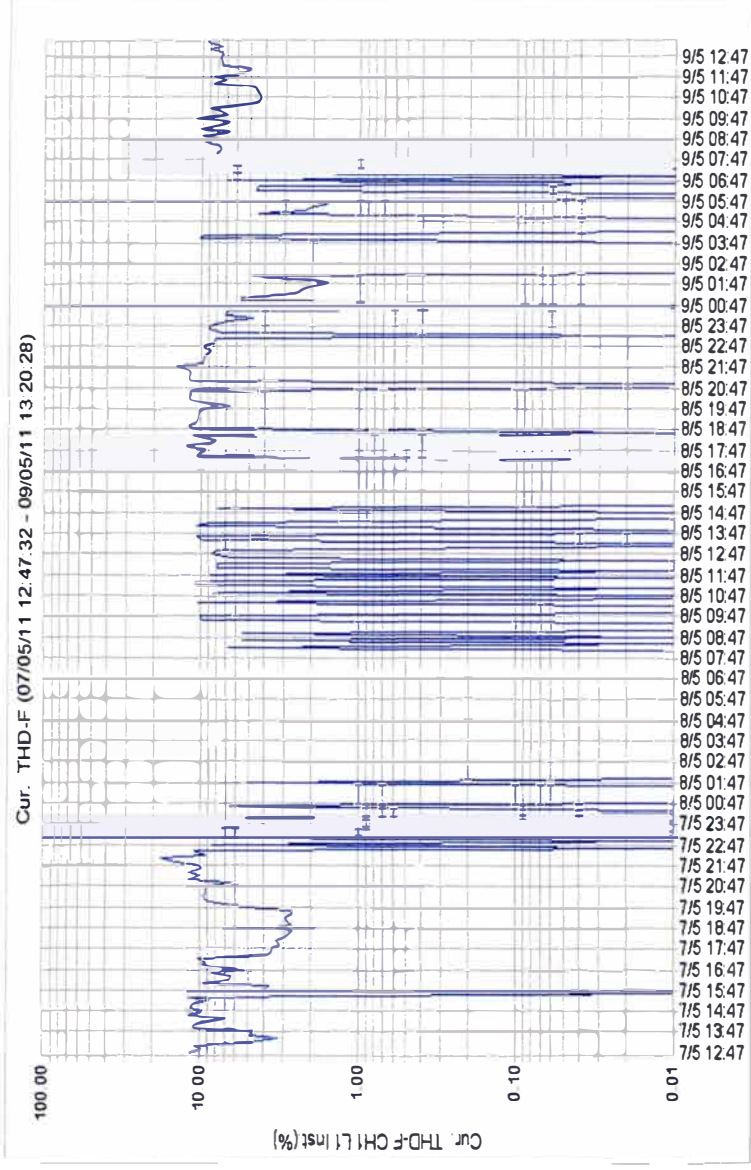


Fig. 3.112 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH1 (THDI-CH1)

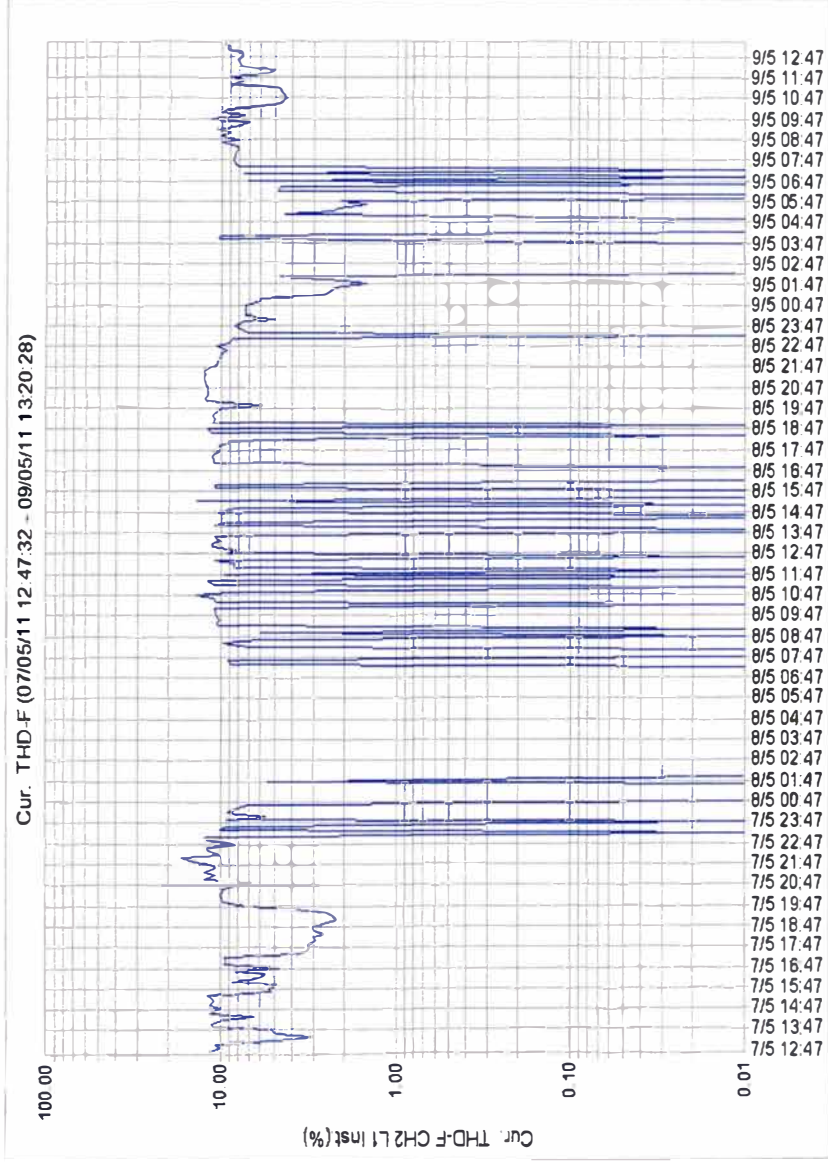
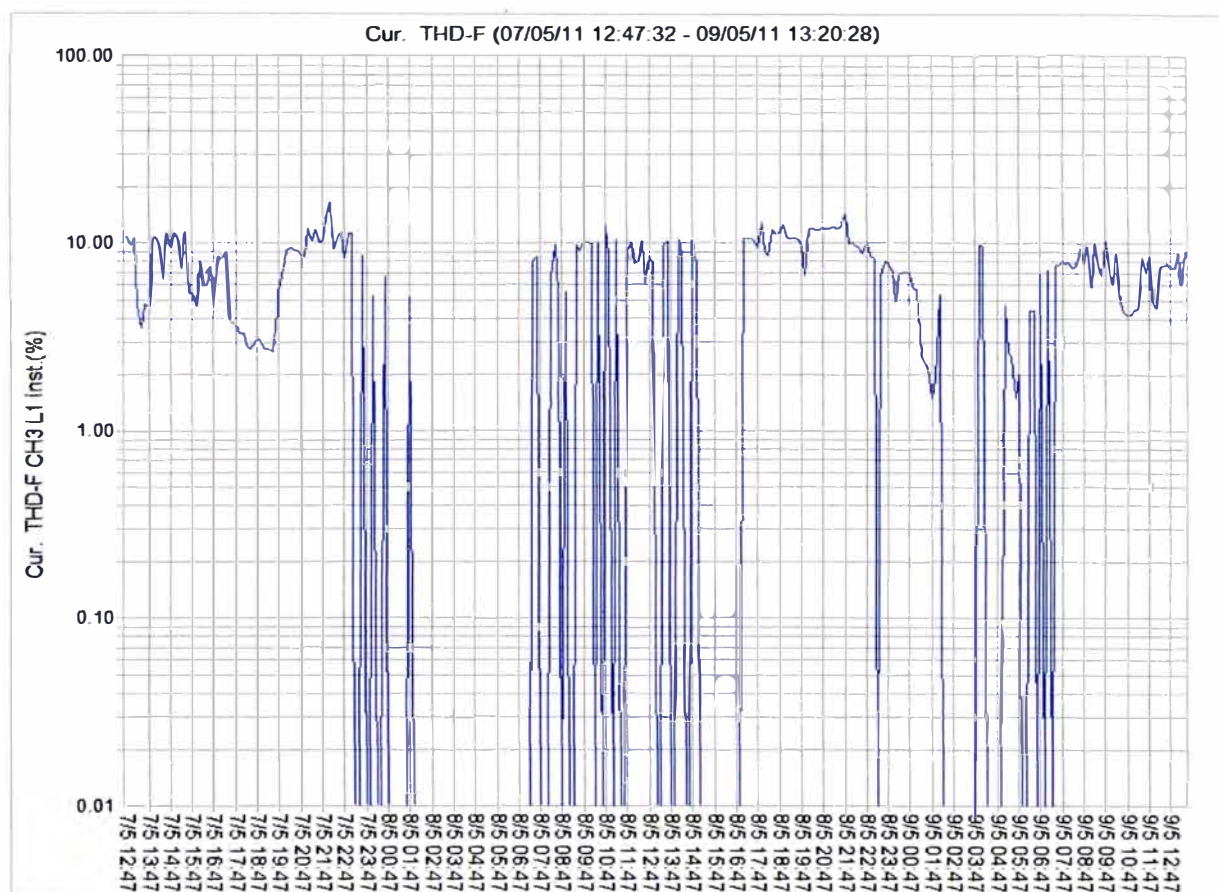


Fig. 3.113 Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH2 (THDI-CH2)



**Fig. 3.114** Tasa de Distorsión Armónica de corriente CH3 (THDI-CH3)

## B ) TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN (THDV%)

**Tabla 3.114** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración superior a una hora)

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Mayores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>5%</b>
I(CH1)	07/05/2011 16:27 a 07/05/2011 17:27	<b>4.5%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	07/05/2011 16:37 a 07/05/2011 17:37	<b>4.2%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	07/05/2011 16:37 a 07/05/2011 17:37	<b>4.2%</b>	<b>CUMPLE</b>

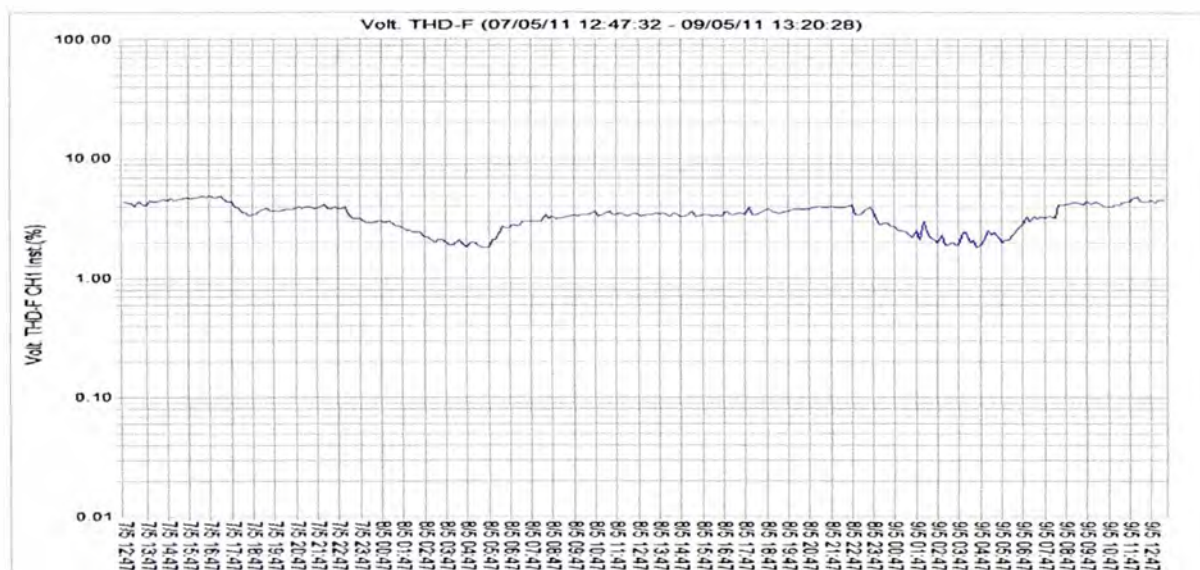
**Tabla 3.115** Tasa de distorsión armónica de tensión  
(Para condiciones con duración menor a una hora)

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% (Menores a 1hr de duración)
<b>IEEE 519</b>			<b>7.5%</b>
I(CH1)	07/05/2011 16:47	<b>4.8%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH2)	07/05/2011 16:07	<b>4.7%</b>	<b>CUMPLE</b>
I(CH3)	07/05/2011 15:37	<b>4.8%</b>	<b>CUMPLE</b>

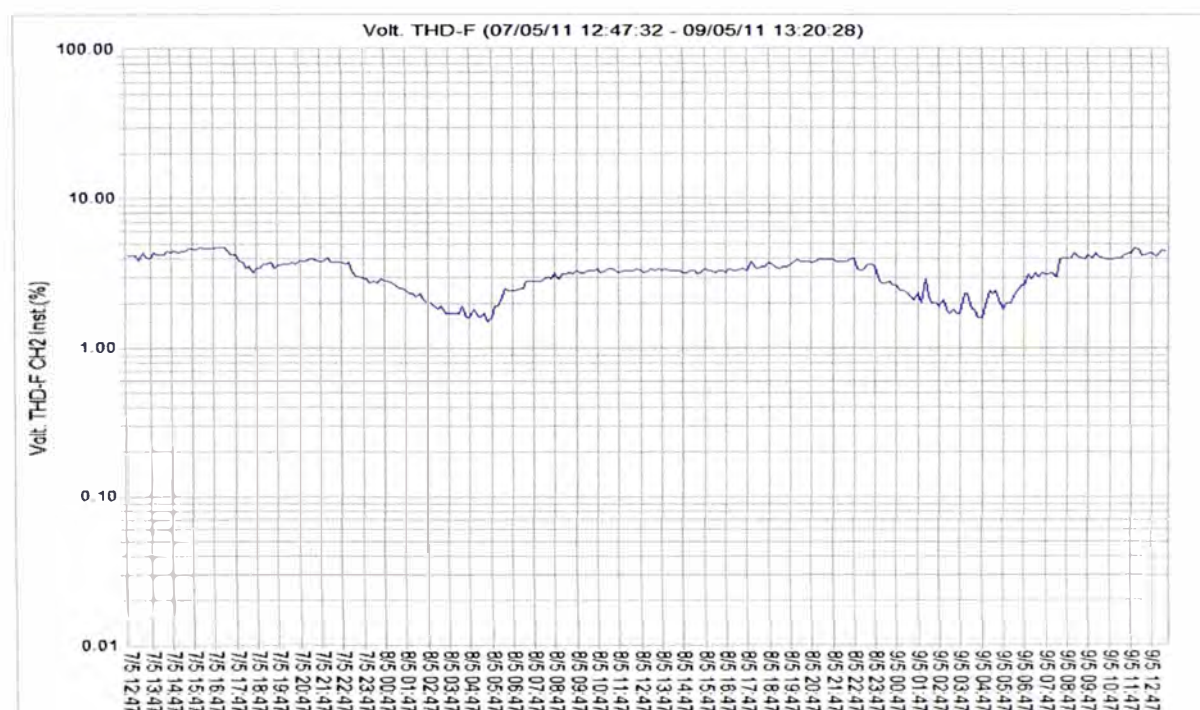
**Tabla 3.116** Tasa de distorsión armónica de tensión  
Para armónicos de corrientes impares individuales.

ORDEN		3th	5th	7th	9th	11th
<b>MAX SEGÚN IEEE 519</b>		3%	3%	3%	3%	3%
<b>CH1</b>	07/05/2011 15:37	0%	4.7%	0.6%	0%	0%
<b>CH2</b>	07/05/2011 15:37	0%	4.6%	0%	0%	0%
<b>CH3</b>	07/05/2011 15:37	0%	4.7%	0.6%	0%	0%
		<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

NC=NO CUMPLE, C=CUMPLE



**Fig. 3.115** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH1 (THDV-CH1)



**Fig. 3.116** Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH2 (THDV-CH2)

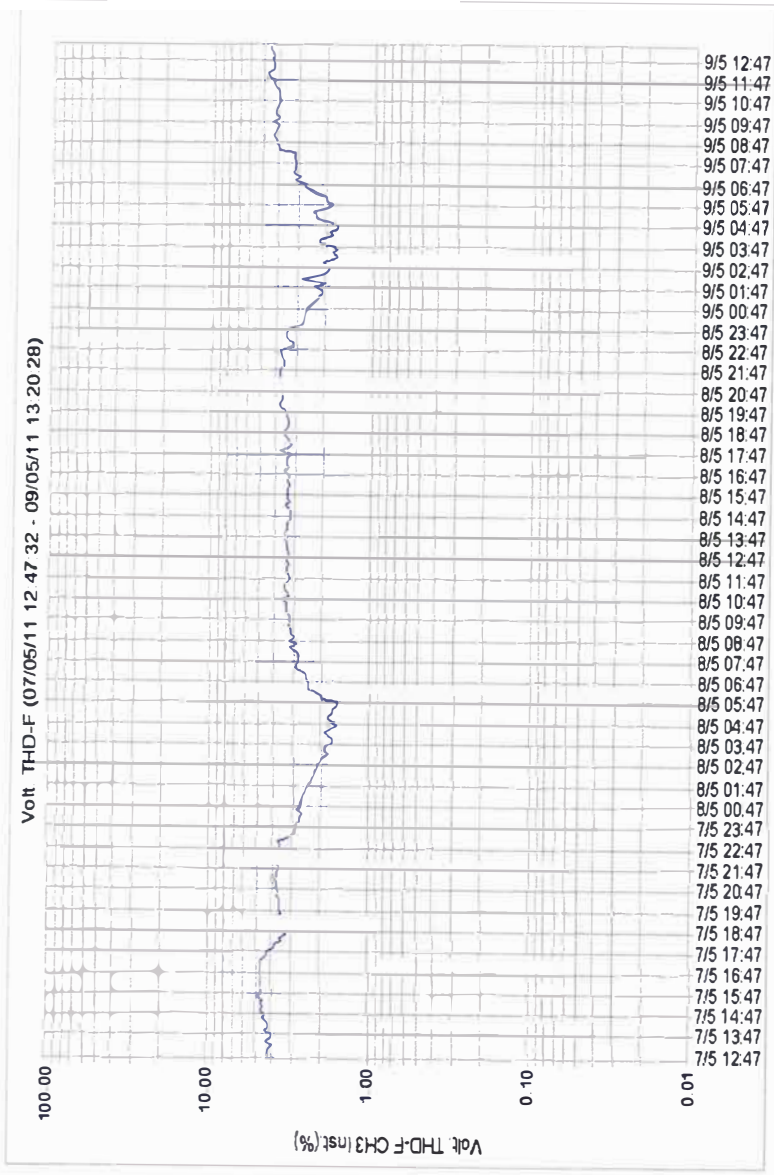


Fig. 3.117 Tasa de Distorsión Armónica de Tensión CH3 (THDV-CH3)

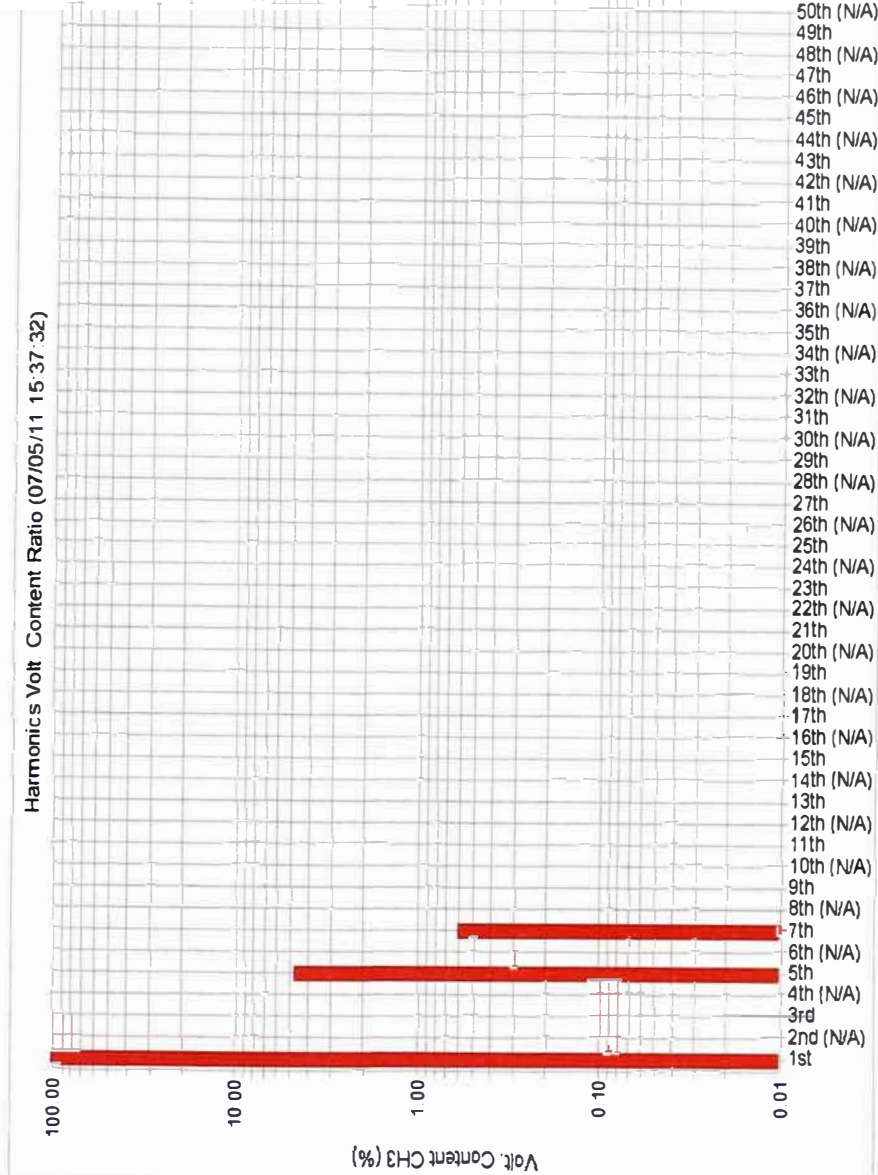


Fig. 3.118 Armónicos de Tensión individuales CH1 (THDV-CH1)



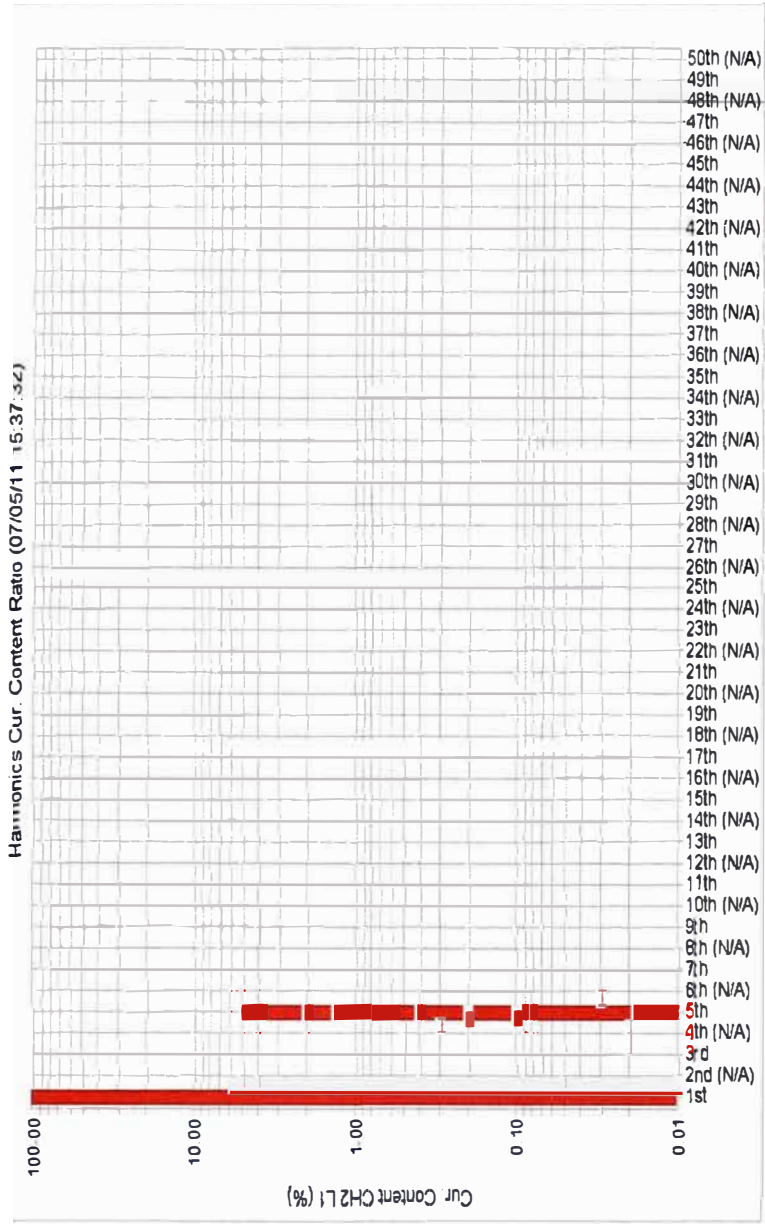


Fig. 3.119 Armónicos de Tensión individuales CH2 (THDV-CH2)

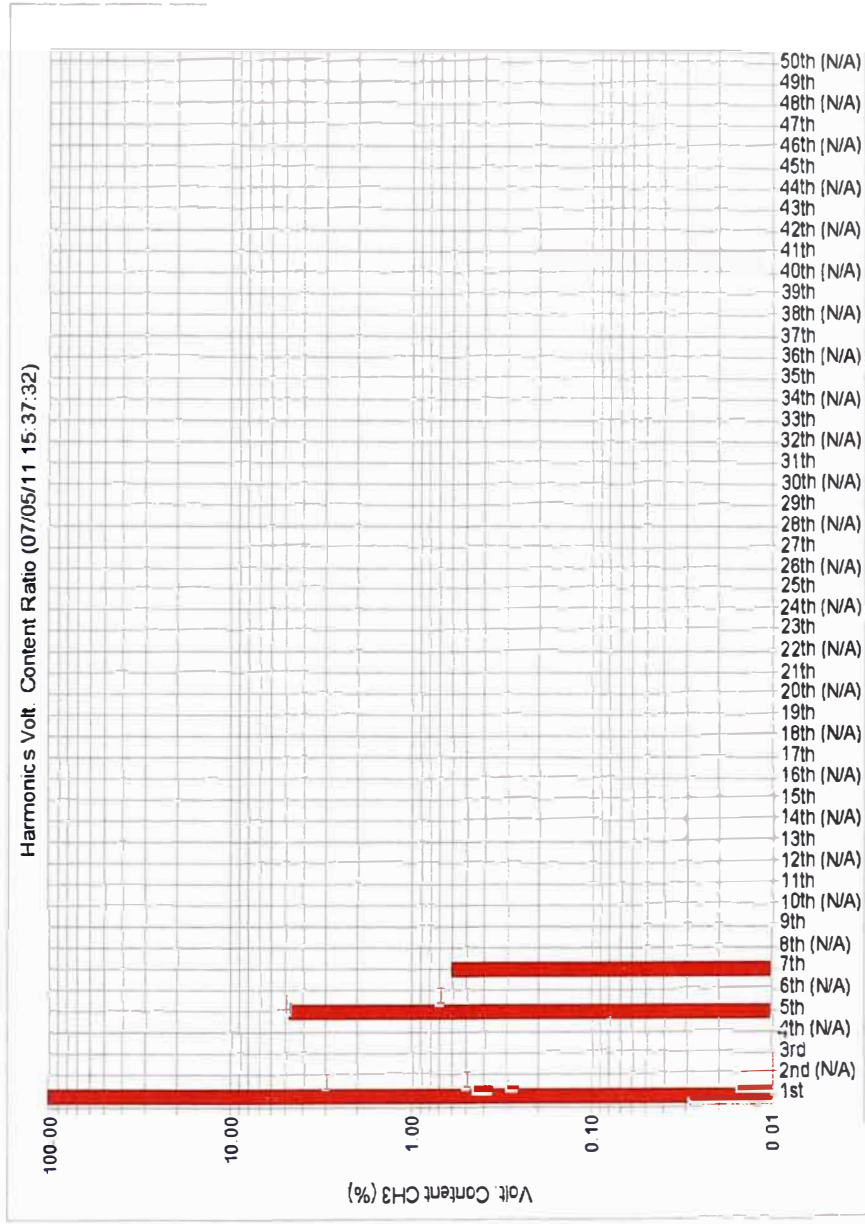


Fig. 3.120 Armónicos de Tensión individuales CH3 (THDV-CH3)

### 3.11.4 Datos de Demanda Máxima (Diagrama de Cargas)

Tabla 3.117 Demanda máxima de las potencias

POTENCIA ACTIVA (kW)	POTENCIA REACTIVA (kVAR)	POTENCIA APARENTE (kVA)
<b>381</b>	<b>332</b>	<b>459</b>

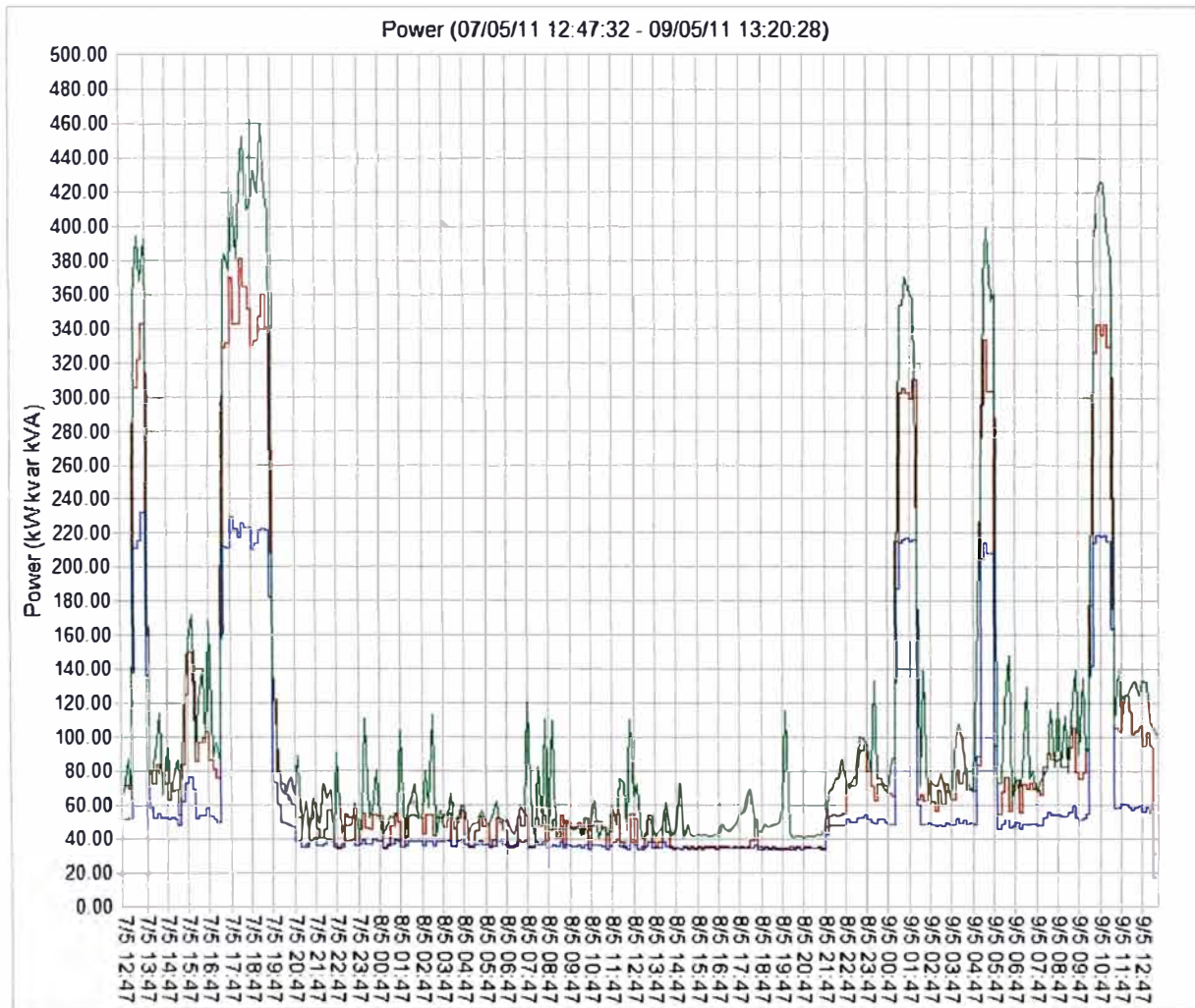


Fig. 3.121 Potencia aparente (verde), Activa (rojo), Reactiva (azul)

### 3.11.5 Datos de Factor de Potencia.

Tabla 3.118 Niveles del factor de potencia

FDP MÁXIMA	FDP MÍNIMA	FDP PROMEDIO
<b>0.9</b>	<b>0.69</b>	<b>0.79</b>

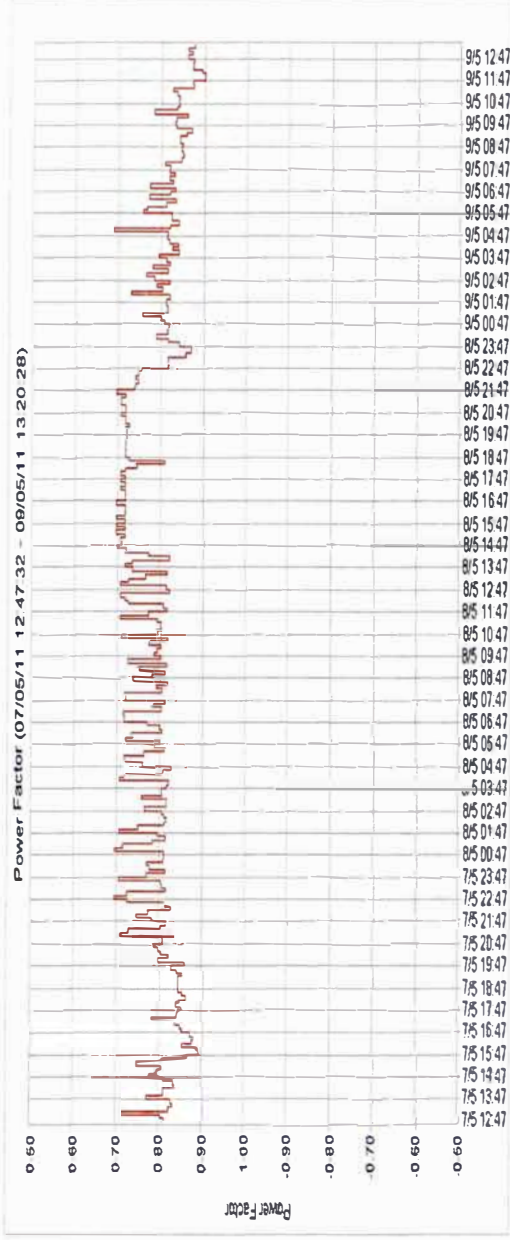


Fig. 3.122 Factor de Potencia.

3.1.1.6 Datos de Corriente.

Tabla 3.119 Corrientes máximas y corrientes promedios

FASES	CORRIENTE MÁXIMA (A)	CORRIENTE PROMEDIO (A)
I(CH1)	587	50
I(CH2)	624	54
I(CH3)	628	55

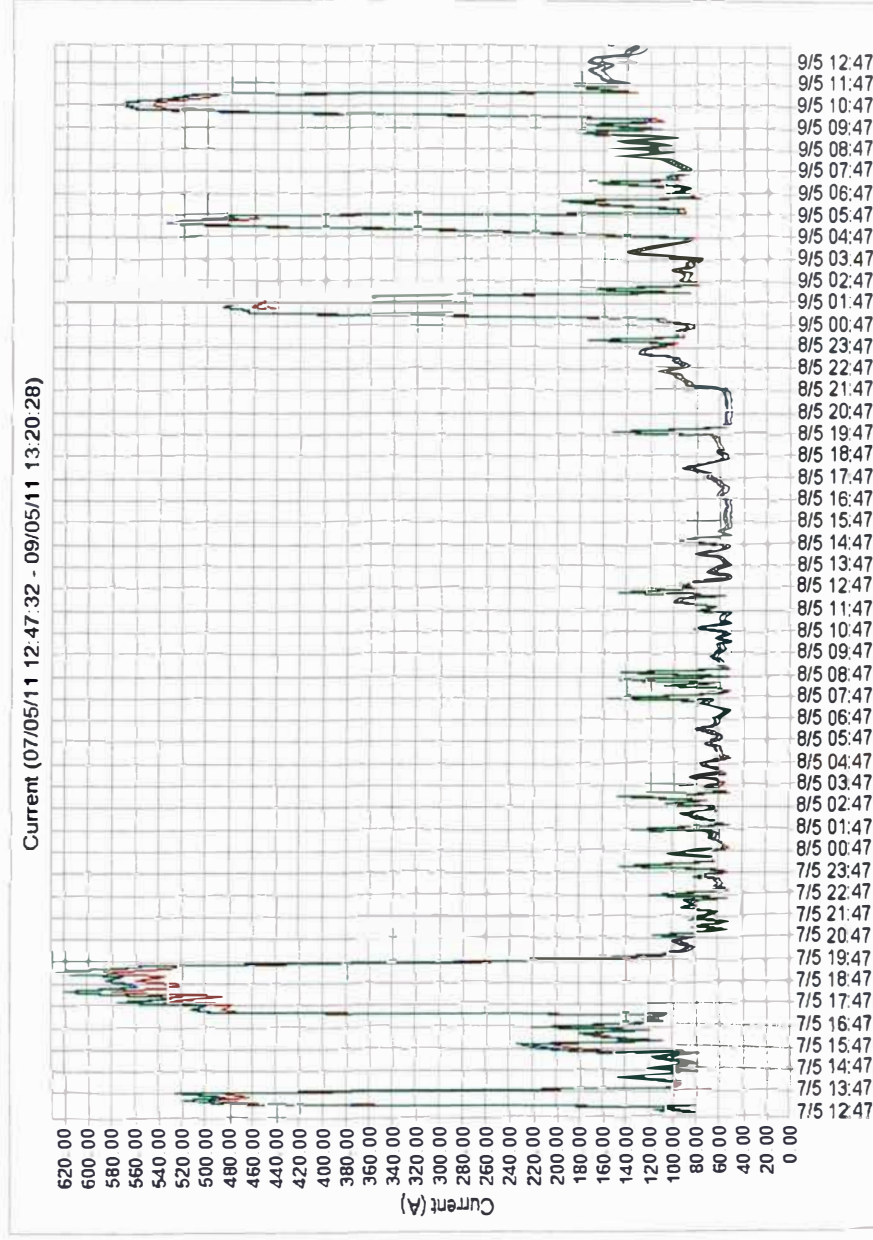
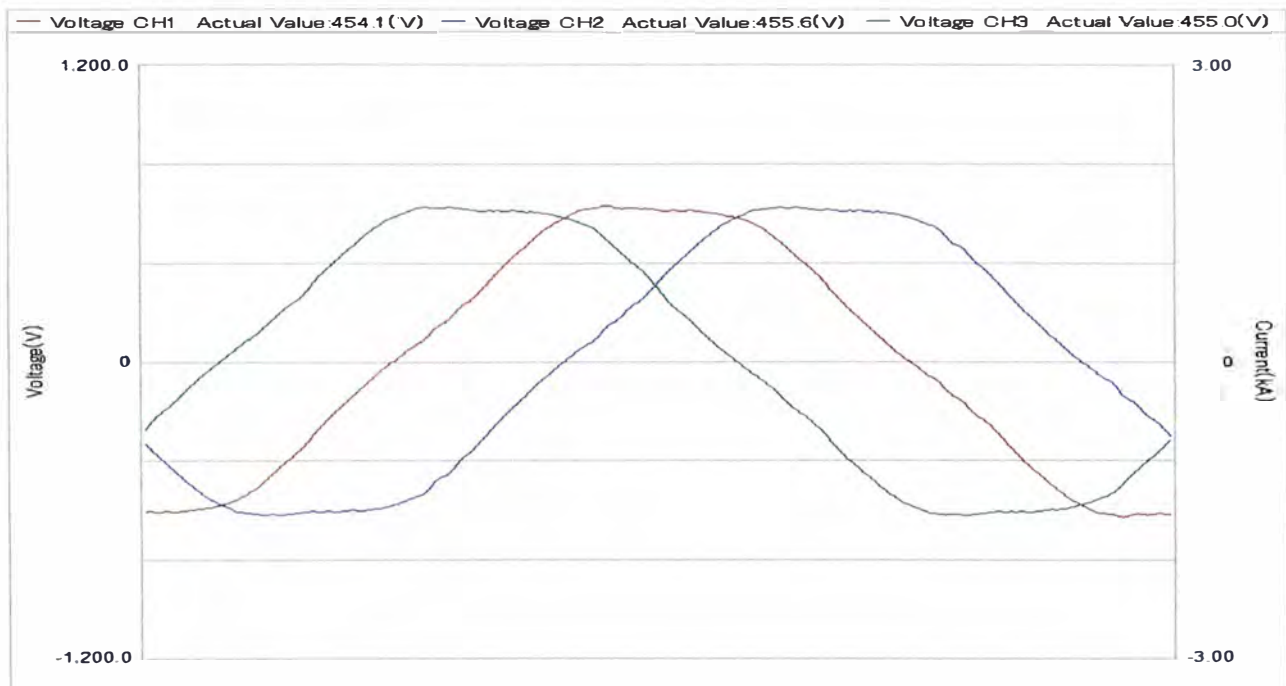
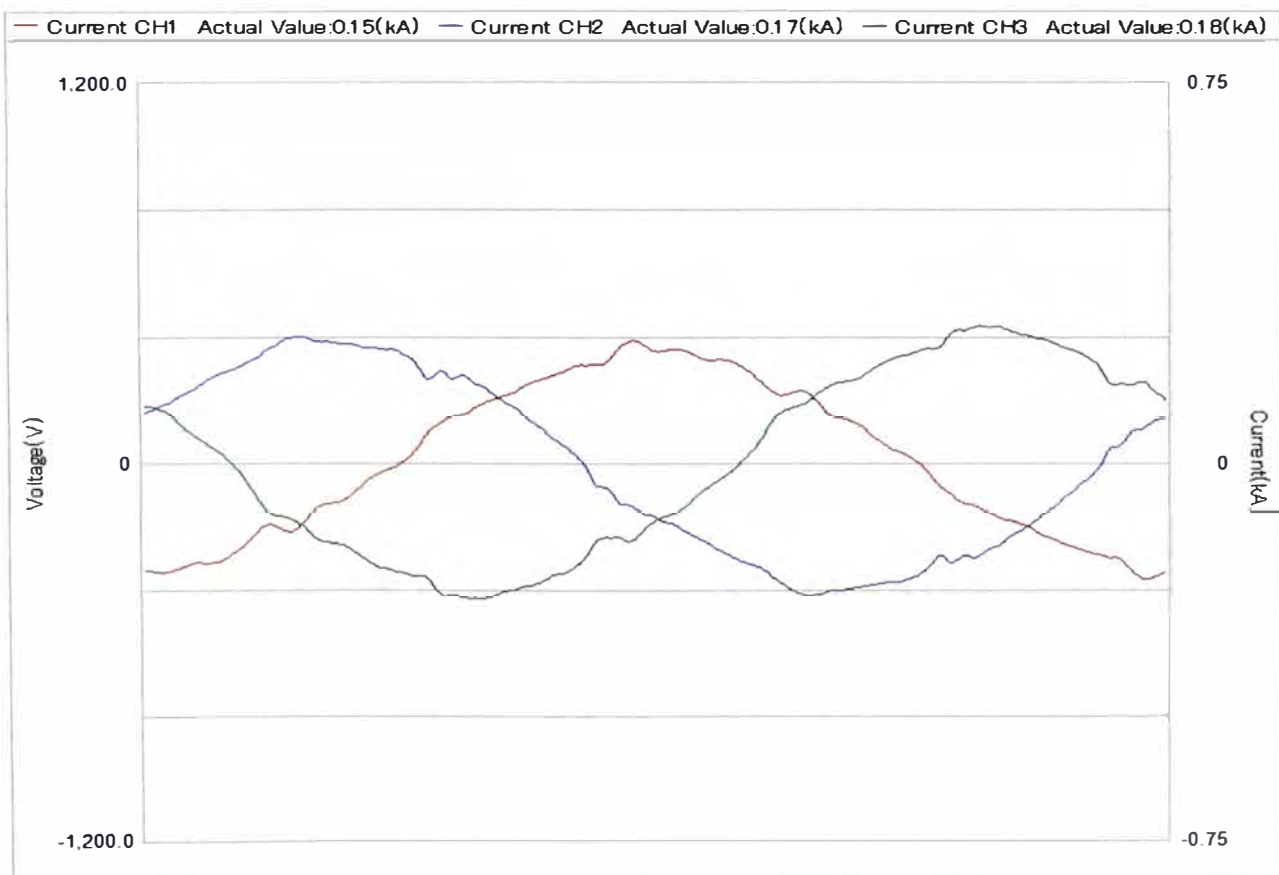


Fig. 3.123 Corriente ICH1 (rojo), ICH2 (azul), ICH3 (verde)

### 3.11.7 Datos de formas de onda Distorsionadas.



**Fig. 3.124** Formas de onda de Tensión Distorsionadas.



**Fig. 3.125** Formas de onda de Corriente Distorsionadas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se va a comentar los resultados obtenidos luego de la realización de las mediciones en la Empresa Industrial.

Estos registros se realizaron en cada subestación de la Empresa y así poder verificar en forma exacta las perturbaciones que ocasionan las cargas no lineales, nos referimos a los equipos electrónicos, variadores de velocidad, rectificadores de estado sólido, etc. instalados en toda la Empresa Industrial.

En la Empresa Industrial hemos visto que están instalados equipos electrónicos y equipos de control de última generación y por esta razón se tiene la necesidad de trabajar con cierto grado de protección ante variaciones en el suministro eléctrico que permitan salvaguardar la información de nuestros trabajos y equipos informáticos con garantías.

El 50% de los problemas ocasionados por los equipos electrónicos, eléctricos e informáticos y las pérdidas de información son debidos a interrupciones y perturbaciones en el suministro de la red eléctrica y esto supone unas pérdidas cuantiosas.

Además del tema puramente económico que se refiere a lo productivo, un mal suministro de energía eléctrica, (calidad de la energía eléctrica) y/o, perturbaciones en la línea eléctrica, etc. afecta a la productividad de la Empresa, ya que alteran gravemente el ritmo de trabajo y pueden ocasionar altos costos.

#### **4.1 Resultados de las Mediciones.**

➤ Los registros de parámetros de calidad de energía de las subestaciones N°2, N°3, N°4 no cumplen con la IEEE 519, se han encontrado eventos perjudiciales que pueden ocasionar fallas en líneas de producción o deterioro (disminución de la vida útil) de equipos básicamente por la alta distorsión armónica encontrada en los puntos de medición.

Algunos de los efectos que podrían ocasionar, los resumimos a continuación:

- **Efectos en cables y conductores.**- Al circular corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule,  $I^2R$ , donde R es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente está dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente (alto THDI) que transporta el cable (manteniendo su

valor RMS igual al valor de corriente directa) disminuye el área efectiva por donde ésta circula, puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior, lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor.

- **Efecto en transformadores.**- La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas  $I^2R$ , y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro. De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:

**Pérdidas sin carga o de núcleo**, producidas por el voltaje de excitación en el núcleo.

La forma de onda de voltaje en el primario es considerada sinusoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no sinusoidales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

**Pérdidas  $I^2R$** , si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

**Pérdidas por corrientes de Eddy**, estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no sinusoidal (y por lo tanto en también en su temperatura). Se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor.

- **Efecto en banco de condensadores.**- El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia tanto serie como paralelo, a medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye. Existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia, y destrucción del condensador.
- **Efecto en los motores de inducción.**- Las armónicas producen los siguientes efectos en las máquinas de corriente alterna: un aumento en sus pérdidas, la disminución en el torque generado y disminución de la vida útil. Esto tiene gran

importancia en la industria y a continuación se mostrará un estudio simplificado de estos efectos.

- **Pérdidas en los motores de inducción.**- Si la tensión que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces se incrementarán sus pérdidas  $I^2R$  en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (eddy e histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas. En forma más detallada, tenemos el siguiente análisis de las pérdidas.

- ❖ **Pérdidas  $I^2R$  en el estator:** según IEEE [Tabla N° 1.2], las pérdidas en el estator son determinadas utilizando la resistencia a corriente directa de la máquina, corregida a la temperatura especificada. Al operar la máquina de inducción con voltajes con contenido armónico no sólo aumentan estas pérdidas por el efecto piel que incrementa el valor de la resistencia efectiva, sino que también aumenta el valor de la corriente de magnetización, incrementándose aún más las pérdidas  $I^2R$ .
- ❖ **Pérdidas  $I^2R$  en el rotor:** éstas aumentan de manera más significativa que las anteriores, por el diseño de la jaula en los motores de inducción que se basa en el aprovechamiento del efecto piel para el arranque. Esta resistencia aumenta en forma proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y por ende las pérdidas.
- ❖ **Pérdidas de núcleo:** estas pérdidas son función de la densidad de flujo en la máquina. Éstas aumentan con excitación de voltaje no sinusoidal puesto que se tienen densidades de flujo pico más elevadas, sin embargo su aumento es aún menor que el de las pérdidas mencionadas anteriormente e incluso son más difíciles de cuantificar.
- ❖ **Pérdidas adicionales:** son muy difíciles de cuantificar aún bajo condiciones de voltaje sinusoidal. Al aplicar voltaje no sinusoidal, éstas aumentan en forma particular para cada máquina. Torque en el motor de inducción: las armónicas de secuencia positiva producen en el motor de inducción un torque en el mismo sentido de la dirección de rotación, en tanto que las de secuencia negativa tienen el efecto opuesto. En caso de que se tenga conectado el neutro, el par producido por las armónicas "triplen" es igual a cero. Dependiendo del contenido armónico del voltaje aplicado, el par promedio de operación puede verse disminuido considerablemente, sin embargo en la mayoría de los casos el efecto producido por las armónicas de secuencia negativa se cancela con el efecto de las de secuencia positiva, por lo que su efecto neto en el par promedio puede despreciarse. La interacción de las

corrientes armónicas del rotor con el flujo en el entrehierro de otra armónica resultan torques pulsantes en los motores, los que pueden afectar la calidad del producto donde las cargas de los motores son sensibles a estas variaciones. Estos torques pulsantes también pueden excitar una frecuencia de resonancia mecánica lo que resultaría en oscilaciones que pueden causar fatiga de la flecha y otras partes mecánicas conectadas. Por lo general la magnitud de estos torques es generalmente pequeña y su valor promedio es cero.

- Las subestaciones N°2, N°3 y N°4 no cumplen con los valores de Tasa de distorsión armónica de Tensión y Corriente para condiciones mayores y menores a una hora de duración referenciados en la norma IEEE 519.

**Tabla 4.1** Los THDV y THDI según la IEEE 519

SE	Transformador	THDI IEEE 519	THDV IEEE 519	THDI IEEE 519	THDV IEEE 519
		condiciones mayores a 1hr de duración		Condiciones menores a 1hr de duración	
N°1	Canepa Tabini S.A. /240V	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
N°2	BBC-Canepa Tabini/ 240V	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
	BBC /240V	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
N°3	Delcrosa 460V	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
	Fabrica Canepa Tabini S.A./ 240V	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
N°4	Canepa Tabini S.A. /240V	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
N°5	Delcrosa/ 460V	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	ABB/460V	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
<b>Celda de llegada 10kV</b>		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

- El Armónico individual de tensión más preponderante es el de 5° orden este armónico es generado en la planta y son características de cargas de naturaleza no lineal.

**Tabla 4.2** Los niveles de armónicos de tensión

Subestación	Marca Del Transformador	Nivel de tensión	Armónicos de tensión
N°1	Canepa Tabini S.A.	240V	3°,5°,7°
N°2	BBC-Canepa Tabini	240V	5°

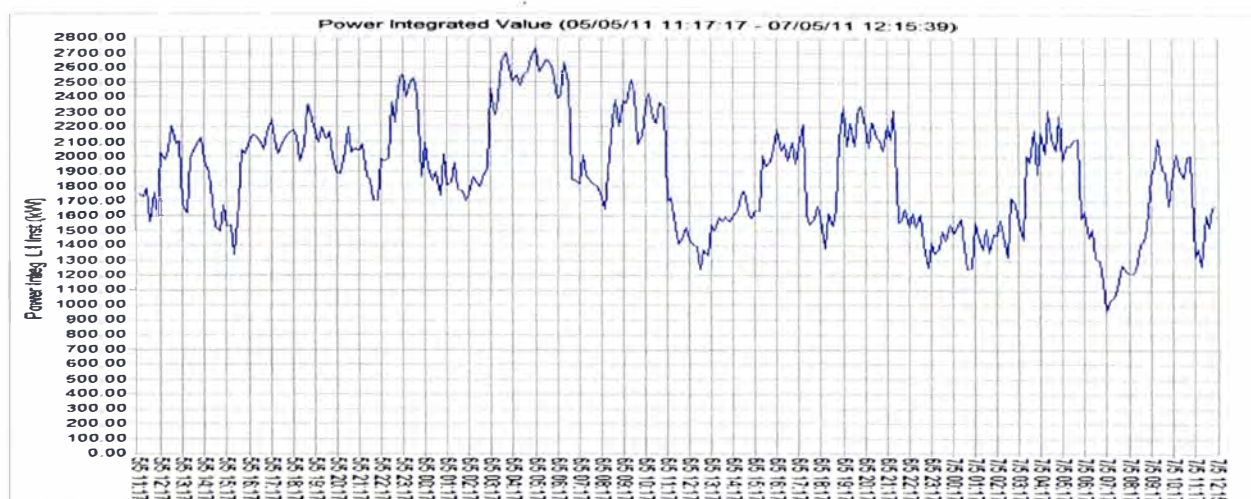


	BBC	240V	5°
N°3	Delcrosa	460V	5°
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	5°
N°4	Canepa Tabini S.A.	240V	5°
N°5	Delcrosa	460V	5°
	ABB	460V	5°
<b>Celda de llegada</b>		10kV	5°

- La tasa de distorsión armónica de corriente es mayor a la tasa de distorsión armónica de tensión  $THDV < THDI$ . La consecuencia de la presencia de armónicos lo podemos observar en las formas de onda de corriente completamente deformadas producto de la carga de naturaleza no lineal generalmente provocadas por: dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia del tipo conmutada, arrancadores de estado sólido, variadores de velocidad, UPS estáticos, rectificadores, alumbrado con balastos electrónicos, impresoras multifunción y computadoras.
- Las subestaciones N°2, N°3, N°4 tienen circuitos derivados con alto contenido de armónicas de tensión y corriente, valores fuera de la norma referenciada, pero a pesar de la existencia de estos altos valores, la tasa de distorsión armónica en los alimentadores en media tensión medida en la celda de llegada (10kV) presentan valores dentro de la norma IEEE 519, esto es consecuencia de que los armónicos son generados aguas abajo del suministro en media tensión y es corroborado con el registro de la potencia armónica positiva.
- La potencia total que incluye las potencias armónicas llega a 2720 kW.

**Tabla 4.3** Total de potencias mas potencias de armónicas

<b>Potencia (60Hz)</b>	<b>Potencia (60Hz)+Potencia (Armónicas)</b>	<b>Potencia (Armónica)</b>	<b>% P(Armónica) del total a 60Hz</b>
<b>2690kW</b>	<b>2720kW</b>	<b>30kW</b>	<b>1.1%</b>



**Fig. 4.1** Gráfica de la Potencia total + Potencia de armónicas

- Algunos valores tensión no cumplen con Norma Técnica de Calidad de Servicios en Electricidad (NTCSE).

**Tabla 4.4** Valores de la tensión según NTCSE

Subestación	Marca Del Transformador	Nivel de tensión	Máximo permitido (NTCSE)	Mínimo permitido (NTCSE)
N°1	Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	CUMPLE
N°2	BBC-Canepa Tabini	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
	BBC	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
N°3	Delcrosa	460V	CUMPLE	CUMPLE
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
N°4	Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	CUMPLE
N°5	Delcrosa	460V	CUMPLE	NO CUMPLE
	ABB	460V	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>Celda de llegada</b>		10kV	CUMPLE	CUMPLE

- Algunos valores de frecuencia no cumplen con Norma Técnica de Calidad de Servicios en Electricidad (NTCSE)

**Tabla 4.5** Valores de la frecuencia según NTCSE

Subestación	Marca Del Transformador	Nivel de tensión	Máximo permitido (NTCSE)	Mínimo permitido (NTCSE)
N°1	Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
N°2	BBC-Canepa Tabini	240V	NO CUMPLE	CUMPLE
	BBC	240V	NO CUMPLE	CUMPLE

<b>N°3</b>	Delcrosa	460V	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>N°4</b>	Canepa Tabini S.A.	240V	NO CUMPLE	CUMPLE
<b>N°5</b>	Delcrosa	460V	NO CUMPLE	CUMPLE
	ABB	460V	NO CUMPLE	NO CUMPLE
<b>Celda de llegada</b>		10kV	NO CUMPLE	NO CUMPLE

➤ El diagrama de cargas y máxima demanda del registro en los alimentadores en media tensión es el siguiente:

<b>Suministro en media tensión</b>	<b>Máxima demanda kW</b>
10kV,60Hz,3Ø	2690kW

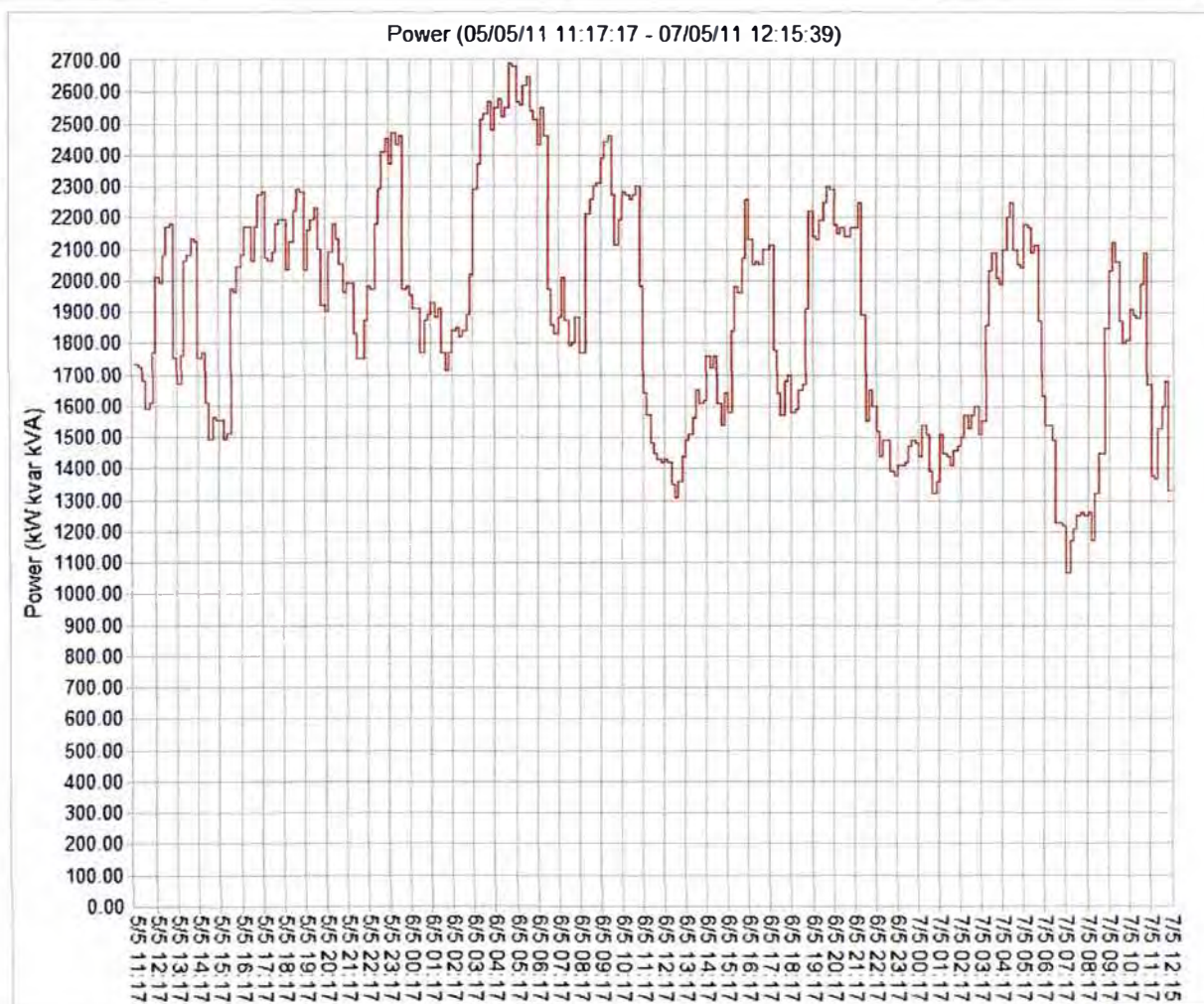


Fig. 4.2 Diagrama de carga y máxima demanda

- El cuadro de cargas con registros de máximas demandas por transformadores se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 4.6** Registro de las máximas demandas por transformador

Subestación	Transformador	Sistema	Potencia (kW)	% del total
N°1	Canepa Tabini S.A.	240V	99 kW	3.4%
N°2	BBC-Canepa Tabini	240V	442 kW	15.3%
	BBC	240V	507 kW	17.6%
N°3	Delcrosa	460V	727.2 kW	25.2%
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	283 kW	9.8%
N°4	Canepa Tabini S.A.	240V	127 kW	4.4%
N°5	Delcrosa	460V	381 kW	13.2%
	ABB	460V	321 kW	11.1%
<b>Máxima Demanda Total fd=1</b>			<b>2887.2kW</b>	<b>100%</b>

- El cuadro de cargas con registros de máximas demandas por subestaciones se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 4.7** Registro de las máximas demandas por subestación

Subestación	Potencia (kW)	% del total
N°1	99 kW	3.4%
N°2	949 kW	32.9%
N°3	1010.2 kW	35%
N°4	127 kW	4.4%
N°5	702 kW	24.3%
<b>Máxima Demanda Total fd=1, 2887.2kW</b>		<b>100%</b>

- El cuadro de cargas con registros de máximas demandas por niveles de tensión se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 4.8** Registro de las máximas demandas por niveles de tensión

Tensión	Subestaciones	Potencia (kW)	% del total
<b>240V</b>	N° 1,2,3,4	1458 kW	50.5%
<b>460V</b>	N° 3,5	1429.2 kW	49.5%
<b>Máxima Demanda Total fd=1, 2887.2kW</b>			<b>100%</b>

- Capacidad de potencia aparente de transformadores en relación a la potencia aparente máxima consumida:

**Tabla 4.9** Registro de las potencias por transformador

Subestación	Marca Del Transformador	Potencia del Transformador (kVA)	Potencia Registrada (kVA)	Reserva del Transformador (%)
N°1	Canepa Tabini S.A.	400 kVA	119 kVA	70.25%
N°2	BBC-Canepa Tabini	800 kVA	461 kVA	42.37%
	BBC	800 kVA	534 kVA	33.25%
N°3	Delcrosa	2000 kVA	757.3 kVA	62.13%
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	500 kVA	359 kVA	28.2%
N°4	Canepa Tabini S.A.	400 kVA	129.4 kVA	67.65%
N°5	Delcrosa	640 kVA	459 kVA	28.28%
	ABB	640 kVA	411 kVA	35.78%

- Potencia reactiva inductiva y factor de potencia promedio registrados en puntos de medición:

**Tabla 4.10** Registro de las potencias por transformador

Subestación	Marca Del Transformador	Nivel de tensión	Potencia Registrada (kVar)	Factor de potencia promedio
N°1	Canepa Tabini S.A.	240V	67 kVAR	0.86
N°2	BBC-Canepa Tabini	240V	134 kVAR	0.92
	BBC	240V	161 kVAR	0.96
N°3	Delcrosa	460V	67.2 kVAR	1
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	203 kVAR	0.75
N°4	Canepa Tabini S.A.	240V	7.9 kVAR	1
N°5	Delcrosa	460V	332 kVAR	0.79
	ABB	460V	256 kVAR	0.64
<b>Celda de llegada</b>		10kV	1090 kVAR	0.94

- Algunos valores tensión no cumplen con Norma Técnica de Calidad de Servicios en Electricidad (NTCSE).

**Tabla 4.11** Valores de tensión comparados con la norma NTCSE

<b>Subestación</b>	<b>Marca Del Transformador</b>	<b>Nivel de tensión</b>	<b>Máximo permitido (NTCSE)</b>	<b>Mínimo permitido (NTCSE)</b>
<b>N°1</b>	Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	CUMPLE
<b>N°2</b>	BBC-Canepa Tabini	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
	BBC	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>N°3</b>	Delcrosa	460V	CUMPLE	CUMPLE
	Fabrica Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>N°4</b>	Canepa Tabini S.A.	240V	CUMPLE	CUMPLE
<b>N°5</b>	Delcrosa	460V	CUMPLE	NO CUMPLE
	ABB	460V	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>Celda de llegada</b>		10kV	CUMPLE	CUMPLE

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para las subestaciones N°2, N°3 y N°4, que presentan valores de THDV y THDI superiores a la norma referenciada, se propone:

- Dotar al sistema de control de sus respectivas líneas de producción con transformadores de aislamiento trifásicos, factor K13, con disposición 240/380Vac (Fase-Neutro-tierra), grupo de conexión Dyn5 y tensión estabilizada con filtro de THDV <3%. La conexión a tierra para estos sistemas debe ser independiente conectado a un mismo sistema de protección a tierra, tanto fuerza y control para tener el mismo potencial, este sistema deberá tener una resistencia menor a 5 ohmios. Esto como medida preventiva frente a las perturbaciones provocadas por los armónicos de tensión y corriente en la línea de fuerza.
- Identificar a través de un estudio las fuentes generadoras de armónicos y por medio de la elaboración y ejecución de un proyecto integral, disminuir su incidencia en el sistema eléctrico.

2. Mejorar el nivel de tensión de las subestaciones N°2, N°3, N°5, presentan tensiones por debajo del mínimo permitido según NTCSE, se propone lo siguiente:

- Realizar mediciones simultaneas tanto en la barra de media tensión (celda de llegada) como en la barra de media tensión en las subestaciones N°2, N°3 y N°5. Y determinar si el bajo nivel de tensión es producto de la caída de tensión en la línea de media tensión o en las barras de baja tensión.
- Calcular la caída de tensión teórica considerando la longitud del cable, y la corriente que consume y determinar su correspondencia con los valores medidos.

3. Para las subestaciones N°2, N°3, N°4 dotar a sus bancos de condensadores, filtros de rechazo por la presencia notable de armónicos de tensión y corriente predominantemente de 5to orden.

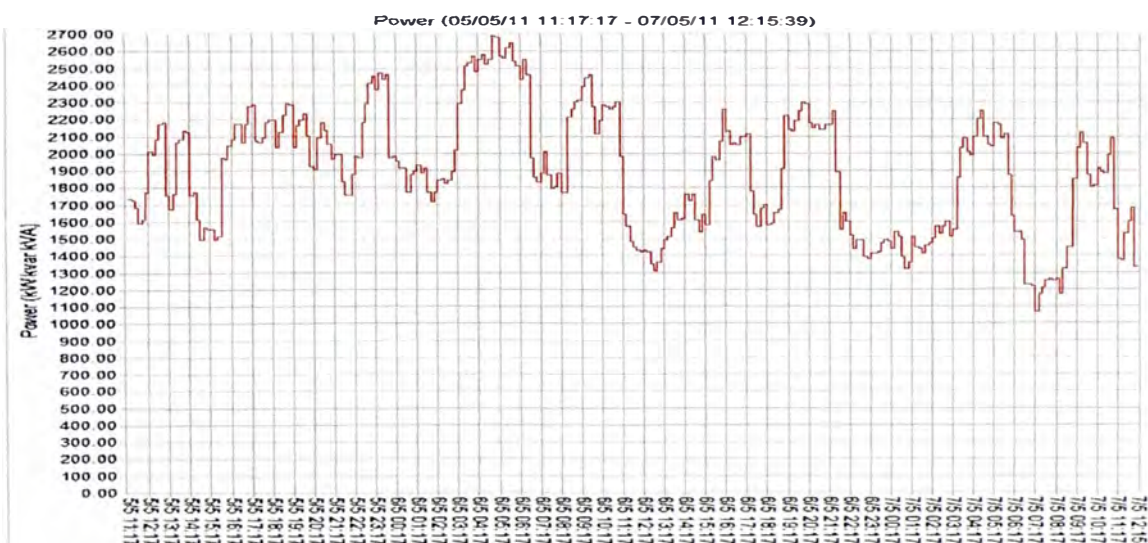
Aunque los condensadores, como tales no generan armónicos, son uno de los elementos más sensibles a la presencia de armónicos. Los condensadores son

receptores que por sus características intrínsecas pueden producir resonancias armónicas, amplificando los niveles de armónicos de nuestra instalación, capaces de provocar los siguientes efectos:

- Deterioro prematuro de los condensadores, con posible riesgo de destrucción de estos.
- Disparos intempestivos de las protecciones.
- Sobrecalentamiento de conductores
- Sobrecalentamiento de transformadores,

Llegando a provocar disparo por sobre temperatura, perdidas extras tanto en el cobre como en el hierro y saturación, aumento de pérdidas térmicas.

4. En el programa de adquisición de nuevos equipos se recomienda que los niveles de distorsión armónica de tensión y corriente de estos nuevos equipos estén por debajo del 5%, para evitar elevar el nivel de THDV, THDI en el sistema, disminuir las pérdidas y la corrección del factor de potencia.
5. Se recomienda que los sistemas de protección a tierra conectados a líneas de fuerza, control y bancos de condensadores cuenten con un programa de mediciones y mantenimientos programados, parte de las soluciones de los problemas de perturbaciones están referidas a una buena resistencia de los SPAT, se recomienda una resistencia menor a 5 ohmios, salvo especificación técnica del fabricante.
6. El diagrama de carga de la Empresa Industrial presenta valles y crestas bien diferenciadas, se podría hacer más eficiente el consumo de la energía eléctrica a través de un proyecto de administración de la máxima demanda y reducir sus costos por energía eléctrica.



**Fig. 4.3** Diagrama de Potencias



7. Las subestaciones N°1, N°2, N°4, cuentan con transformadores con más de 20 años de antigüedad se recomienda realizar pruebas de cromatografía de gases disueltos al aceite dieléctrico para determinar su vida útil y tomar medidas correctivas para preservar su operatividad y vigencia en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ 1 ] M.Sc. Ernesto Noriega Stefanova "Generalidades sobre los armonicos y su influencia en los sistemas de distribución de energía." Empresa Eléctrica Matanza Cuba.
- [ 2 ] Calidad de servicio en un sistema eléctrico de potencia - Grupo de investigación, Desarrollo e innovación en Sistemas Eléctricos y Electrónicos de Potencia de la Universidad de Extremadura. Badajoz. España.
- [ 3 ] Elecond Capacitores S.A. "Armónicas y corrección del factor de potencia" EPCOS representative in Argentina. San Antonio 640 - (1276) Buenos Aires, Argentina.Tel: (54-11) 4303-1203 Fax: (54-11) 4303-1210 <http://www.elecond.com.ar> - email: [info@elecond.com.ar](mailto:info@elecond.com.ar)
- [ 4 ] PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA DISTORSIÓN ARMÓNICA SLITE Ponente Ing. Eugenio Téllez Ramírez AUTOMATIZACIÓN, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD S.A. de C.V. 16 SUR 2122 Col. Bellavista C.P. 72500 Puebla, Pue. Tel/Fax : (222) 243-5437 e-mail : [apc@mail.precitool.com.mx](mailto:apc@mail.precitool.com.mx)
- [ 5 ] COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICAS Conceptos, norma vigente en Chile y alternativas de solución al problema Francisco Acevedo Donoso.
- [ 6 ] Perturbaciones en la red eléctrica – Afinidad eléctrica. Víctor Sánchez Huerta División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Quintana Roo <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=165>
- [ 7 ] Calidad de la energía eléctrica Universidad Politécnica Salesiana <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/145/2/CAPITULO%20I.pdf>
- [ 8 ] Ing°. Eleazar Reyes Trujillo tesis Maestría "Aplicación de un filtro activo de corriente en la reducción de armónicos en sistemas eléctricos industriales" México junio 2005.
- [ 9 ] Roger Dugan/ Mark F. Mc Gramagham/ Wayne Beaty "ELECTRIC POWER SYSTEMS QUALITY" Mc Grawill – Hill - Engineering Proffesional.
- [10 ] J. Arrillaga / Neville Watson "POWER SYSTEMS HARMONICS" Second edition
- [11 ] Material elaborado para el curso de " Armónicos, Perturbaciones y Calidad de Energía" Ing. Tomas Palma.

- [12 ] Información técnica proporcionada por la Empresa Industrial de fabricación de placas de fibrocemento.
- [13 ] “NORMAS TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS” Dirección General de Electricidad – Ministerio de Energía y Minas.  
<http://www.coes.org.pe/dataweb3/2010/djr/baselegal/Norma%20Tecnica%20de%20Calidad%20de%20los%20Servicios%20Electricos.pdf>