



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“FENÓMENOS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA  
REGISTRADOS EN UN ALIMENTADOR  
DE DISTRIBUCIÓN DE 13.8 KV”**

**TESIS**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**Presenta:**

**Jorge Lucio Díaz**

**Asesor:**

**M.C. José Alberto Avalos González**

**MORELIA, MICHOACÁN, ENERO 2007.**



# Agradecimientos

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir y la salud.

A mis padres, por haberme dado la vida. Gracias por darme el ejemplo a seguir y por el enorme sacrificio que han hecho para que yo concluyera mi carrera. Les doy gracias por todo su apoyo, amor y comprensión.

Sr. Alberto Lucio Cahue

Sra. Maria Gpe. Díaz González

A mis hermanos.

Lorena Lucio Díaz

Fabiola Lucio Díaz

Marilu Lucio Díaz

Alberto Lucio Díaz

Por su amistad, comprensión, cariño y apoyo moral que me han dado a lo largo de mi vida y formación profesional. Gracias por estar a mi lado e impulsarme a seguir adelante.

A Paty, por su apoyo, por sus consejos, por la alegría que me brinda. Por siempre interesarse en mi bienestar y por ser una de las partes más importantes de mi vida.

A mis amigos por brindarme la oportunidad de ser parte de sus vidas y compartir tantas experiencias, buenos momentos, y por su apoyo en los momentos malos.

A mi Asesor de Tesis M.C. José Alberto Avalos González por su ayuda para realizar éste trabajo de tesis.

# Dedicatoria

A Dios.

A mis Padres con amor.

A mis hermanos con mucho cariño.

A mi familia que siempre ha creído en mí.

A mis amigos, que han estado junto a mí.

A tí Paty con amor, por apoyarme y estar conmigo siempre.

## **Resumen**

En éste trabajo se realiza la clasificación de los eventos registrados en un alimentador de media tensión en distribución de 13.8KV, durante un periodo de cuatro meses en el año 2004, los cuales afectan la calidad del servicio de energía eléctrica al usuario.

El monitoreo del alimentador fue hecho las 24 horas del día, mediante el equipo de monitoreo de energía PP1-PQPlus, el cual puede registrar eventos de calidad de la energía, con una velocidad de muestreo de 128 muestras por ciclo.

El análisis de los eventos se realiza con ayuda del software Dran-View el cual es un programa que permite analizar los archivos grabados por el PP1 en una PC. La clasificación de los eventos ocurridos se realiza conforme al estándar de IEEE 1159-1995.

# Contenido

Resumen .....	iv
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tablas .....	xii
Lista de Símbolos y Abreviaciones .....	xiii
<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
Antecedentes .....	1
Definición calidad de la energía .....	4
Objetivos de la tesis .....	6
Justificación .....	7
Metodología .....	7
Descripción de los capítulos .....	8
<b>Capítulo 1. Características de la Calidad de la Energía</b>	<b>10</b>
1.1 Por qué la necesidad de calidad de la energía .....	10
1.1.1 Valor RMS .....	11
1.1.2 Cargas no lineales .....	14
1.2 Tipos de problemas de calidad de la energía .....	15
1.3 Transitorios .....	18
1.3.1 Impulsos transitorios .....	19
1.3.2 Oscilaciones transitorias .....	20
1.4 Variaciones de corta duración .....	21
1.4.1 Interrupción .....	21
1.4.2 Sags .....	22
1.4.3 Swells .....	23
1.5 Variaciones de larga duración .....	23

1.5.1	Interrupción sostenida .....	24
1.5.2	Bajovoltaje .....	24
1.5.3	Sobrevoltaje .....	25
1.6	Fluctuaciones de voltaje .....	25
1.7	Desbalance en voltaje .....	26
1.8	Distorsión de forma de onda .....	26
1.8.1	Muestras en el voltaje .....	26
1.8.2	Ruido .....	27
1.8.3	Armónicos .....	27
1.9	Series de Fourier de ondas periódicas .....	29
1.10	Distorsión armónica total .....	30
1.11	Conclusiones .....	31
 <b>Capítulo 2. Registro de Eventos</b>		<b>32</b>
2.1	Introducción .....	32
2.2	Configuración de la conexión del PP1 .....	34
2.3	Monitoreo del alimentador .....	37
2.4	Archivos grabados durante el tiempo de monitoreo .....	37
2.5	Conclusiones .....	40
 <b>Capítulo 3. Análisis de Resultados y Clasificación de Eventos</b>		<b>41</b>
3.1	Archivos con eventos .....	41
3.2	Contenido espectral de los impulsos transitorios .....	42
3.3	Análisis del Archivo PCS 8 .....	42
3.3.1	Sags .....	44
3.4	Análisis del Archivo PCS 10 .....	45
3.4.1	Transitorios .....	47
3.4.2	Sags .....	48
3.5	Análisis del Archivo PCS 11 .....	49
3.5.1	Transitorios .....	51
3.5.2	Sags .....	54

3.6	Análisis del Archivo PCS 17	57
3.6.1	Transitorios	59
3.7	Análisis del Archivo PCS 19	59
3.7.1	Transitorios	61
3.7.2	Sags	61
3.8	Análisis del Archivo PCS 24	62
3.8.1	Transitorios	64
3.8.2	Sags	65
3.9	Análisis del Archivo PCS 25	68
3.9.1	Sags	70
3.10	Análisis del Archivo PCS 28	71
3.10.1	Transitorios	73
3.10.2	Sags	75
3.11	Análisis del Archivo PCS 33	76
3.11.1	Sags	78
3.12	Análisis del Archivo PCS 34	79
3.12.1	Sags	81
3.13	Análisis del Archivo PCS 35	85
3.13.1	Sags	87
3.14	Análisis del Archivo PCS 37	90
3.14.1	Transitorios	92
3.15	Análisis del archivo PCS 52	93
3.15.1	Sag	95
3.16	Resultados del monitoreo	96
3.16.1	Resultados de sags de voltaje	97
3.16	Conclusiones	99
<b>Capítulo 4. Conclusiones</b>		<b>100</b>
4.1	Conclusiones generales	100
4.2	Trabajos futuros	101

<b>Apéndices</b>	102
A Parámetros del PP1 .....	103
B Configuración del instrumento .....	108
<b>Bibliografía</b> .....	115



## Lista de Figuras

0.1.	Definiciones de Calidad de la Energía .....	5
1.1.	Onda sinusoidal de voltaje con los valores máximo y mínimo .....	11
1.2.	Forma de onda sinusoidal de voltaje .....	13
1.3.	Forma de onda de una carga lineal .....	14
1.4.	Forma de onda de una carga no lineal .....	15
1.5.	Definiciones para eventos de voltaje usado por IEEE .....	18
1.6.	Gráfica de impulso transitorio .....	19
1.7.	Gráfica de oscilación transitoria de baja frecuencia causada por la energización de un banco de capacitores .....	20
1.8.	Interrupción de voltaje .....	21
1.9.	Gráfica de un sag de voltaje .....	22
1.10.	Gráfica de un swell de voltaje .....	23
1.11.	Gráfica de bajovoltaje .....	24
1.12.	Ejemplo de una fluctuación de voltaje (flicker) .....	25
1.13.	Ejemplo de notches de voltaje causado por un convertidor trifásico .....	26
1.14.	Gráfica de ruido eléctrico .....	27
1.15.	Composición armónica .....	28
2.1.	Equipo PP1 .....	32
2.2.	Diagrama unifilar de conexión .....	35
2.3.	Diagrama de conexión del PP1 para estrella aterrizada .....	36
2.4.	Gráficas de voltaje para la fase A .....	40
3.1.	Tiempo de elevación .....	42
3.2.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 8 .....	43
3.3.	Forma de onda del sag presentado en el archivo PCS 8 .....	44
3.4.	Detalle del sag ocurrido en el archivo PCS 8 .....	45
3.5.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 10 .....	46
3.6.	Forma de onda del primer transitorio en el archivo PCS 10 .....	47

3.7.	Forma de onda y detalle del segundo transitorio del archivo PCS 10	.....	48
3.8.	Detalle del sag presentado en el archivo PCS 10	.....	48
3.9.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 11	.....	50
3.10.	Forma de onda y detalle del evento transitorio en el archivo PCS 11	.....	51
3.11.	Gráfica de voltaje hecha en MatLab para los eventos del 21 al 30 del archivo PCS 11	.....	52
3.12.	Forma de onda y detalle del evento# 53 del archivo PCS 11	.....	53
3.13.	Forma de onda y detalle del evento# 116 del archivo PCS 11	.....	53
3.14.	Gráficas de los sags de voltaje presentados	.....	54
3.15.	Inicio y fin del sag presentado en los eventos de los eventos del 102-106 para el archivo PCS 11	.....	55
3.16.	Forma de onda, para la corriente presentada en el sag	.....	55
3.17.	Forma de onda y detalle del evento# 337 del archivo PCS 11	.....	56
3.18.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 17	.....	58
3.19.	Forma de onda y detalle del evento en el archivo PCS 17	.....	59
3.20.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 19	.....	60
3.21.	Valores mínimo; máximo y media registrados para el archivo PCS 19	....	61
3.22.	Forma de onda y detalle del evento en el archivo PCS 19	.....	61
3.23.	Detalle del sag presentado en el archivo PCS 19	.....	62
3.24.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 24	.....	63
3.25.	Acercamiento de la fase A del archivo PCS 24	.....	64
3.26.	Forma de onda y detalle del transitorio presentado en el archivo PCS 24	..	65
3.27.	Forma de onda y detalle de los eventos presentados durante el sag momentáneo	.....	66
3.28.	Sag momentáneo del archivo PCS 24 graficado en MatLab	.....	67
3.29.	Forma de onda y detalle del segundo sag en el archivo PCS 24	.....	67
3.30.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 25	.....	69
3.31.	Forma de onda y detalle del sag presentado en el archivo PCS 25	.....	70
3.32.	Forma de onda para la corriente presentada durante el sag de voltaje	....	71
3.33.	Diagrama del tiempo para el archivo PCS 28	.....	72
3.34.	Forma de onda y detalle del primer transitorio	.....	73

3.35. Forma de onda y detalle del segundo transitorio .....	74
3.36. Forma de onda y detalle del tercer transitorio .....	74
3.37. Forma de onda y detalle del sag en el archivo PCS 28 .....	75
3.38. Gráficas para la corriente del sag en el archivo PCS 28 .....	76
3.39. Diagrama del tiempo para el archivo PCS 33 .....	77
3.40. Gráfica de voltaje y detalle del evento presentado en el archivo PCS 33 ...	78
3.41. Forma de onda de corriente para el sag ocurrido .....	79
3.42. Diagrama de tiempo para el archivo PCS 34 .....	80
3.43. Acercamiento del pico mínimo registrado para la fase A del archivo PCS 34 .....	81
3.44. Detalle del primer sag .....	81
3.45. Detalle del segundo sag .....	82
3.46. Detalle del tercer sag .....	82
3.47. Detalle del cuarto sag .....	83
3.48. Detalle del quinto sag .....	83
3.49. Detalle del sexto sag .....	83
3.50. Detalle del séptimo sag .....	84
3.51. Detalle del octavo sag .....	84
3.52. Diagrama del tiempo para el archivo PCS 35 .....	86
3.53. Forma de onda y detalle del primer sag en el archivo PCS 35 .....	87
3.54. Gráficas y detalle del segundo sag presentado en el archivo PCS 35 .....	88
3.55. Forma de onda para el voltaje y detalles del evento .....	89
3.56. Gráfica de corriente .....	89
3.57. Diagrama del tiempo para el archivo PCS 37 .....	91
3.58. Impulso transitorio del archivo PCS 37 .....	92
3.59. Segundo impulso transitorio del archivo PCS 37 .....	93
3.60. Diagrama del tiempo para el archivo PCS 52 .....	94
3.61. Forma de onda del sag presentado en el archivo PCS 52 .....	95
3.62. Detalle del evento presentado en el archivo PCS 52 .....	95
3.63. Gráfica de barras en función de la densidad de sags durante los 4 meses .	98

## Lista de Tablas

1.1.	Principales fenómenos causantes de disturbios electromagnéticos clasificados por la IEC .....	16
1.2.	IEEE1159 Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia .....	17
2.1.	Parámetros disponibles en el equipo PP1 .....	33
2.2.	Clasificación para variaciones de voltaje del PP1 .....	34
2.3.	Historial de archivos grabados .....	38
3.1.	Historial de archivos con eventos .....	41
3.2.	Resultados obtenidos del archivo PCS 8 .....	45
3.3.	Resultados obtenidos del archivo PCS 10 .....	49
3.4.	Datos de transitorios para la cadena de eventos .....	52
3.5.	Resultados de sags del archivo PCS 11 .....	56
3.6.	Resultados de transitorios del archivo PCS 11 .....	57
3.7.	Resultados obtenidos del archivo PCS 17 .....	59
3.8.	Resultados del archivo PCS 19 .....	62
3.9.	Resultados del archivo PCS 24 .....	68
3.10.	Resultados del archivo PCS 25 .....	71
3.11.	Resultados del archivo PCS 28 .....	76
3.12.	Resultados del archivo PCS 33 .....	79
3.13.	Resultados del archivo PCS 34 .....	85
3.14.	Resultados del archivo PCS 35 .....	90
3.15.	Resultados del archivo PCS 37 .....	93
3.16.	Resultados del archivo PCS 52 .....	96
3.17.	Resultado global del monitores .....	96
3.18.	Detalle de los sags de voltaje presentados durante el monitoreo del alimentador .....	97
3.19.	Tabla de densidad de sags: Número de sags durante los 4 meses .....	98

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

$\infty$	Infinito
CHA	Canal A del PP1 para la Fase A
CHB	Canal B del PP1 para la Fase B
CHC	Canal C del PP1 para la Fase C
Cos	coseno
$dt$	derivada con respecto a t
FP	Factor de Potencia
hp	caballo de fuerza
Hz	hertz
I	Corriente
K	kilo
KHz	Kilohertz
KV	kilovolt
Max	máximo
MHz	Megahertz
min	minuto
Min	mínimo
ms	milisegundo (potencia $10^{-3}$ )
ns	nanosegundo (potencia $10^{-9}$ )
pu	por unidad
rms	<i>Root mean square</i> (valor eficaz)
seg	segundo
Sen	seno
T	Periodo
TDD	<i>Total Demand Distortion</i> (demanda de distorsión total)
th	grado de armónico
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i> (distorsión armónica total)

V	Volts
VA	Volts-Amper
VAR	Volts-Amper Reactivos
Vpk	Voltaje pico
Vrms	Volts rms
$\mu$ s	microsegundo (potencia $10^{-6}$ )
$\Pi$	Phi
$\Sigma$	sigma (sumatoria)
$\phi$	Fi
$\omega$	Omega
$\tau$	Tao

# Introducción

Para el desarrollo de éste tema de tesis se hará la clasificación y análisis, de eventos de calidad de la energía que se presentaron en un circuito de media tensión en distribución de 13,800 volts. La captura de los eventos se realizó en temporada de lluvias, siendo esta época del año en la que se presentan más alteraciones en el suministro de la red eléctrica, principalmente debidos a descargas atmosféricas y al contacto de árboles con las líneas.

Los eventos fueron monitoreados por el instrumento Power Platform<sup>®</sup> PP1 marca DRANETZ con la tarjeta de manejo TASKCard<sup>®</sup> PQPlus, la cual tiene un muestreo de 128 muestras por ciclo, y serán analizados con el software DRAN-VIEW<sup>®</sup> Pro. La clasificación de los eventos se llevará acabo conforme al estándar de IEEE 1159.

## Antecedentes

Ya casi cuando se concluye un trabajo que se esta realizando en una computadora, a cualquier hora o día del año y por alguna razón no se ha guardado el documento, entonces de pronto la computadora se congela o se reinicializa, y por consecuencia se ha perdido toda la información, por supuesto la persona que estaba realizando el trabajo se encuentra enojadísima y se pregunta, ¿Qué ocurrió?. La respuesta a ésta pregunta y al problema que ocurrió tiene que ver en muchos de los casos con la calidad de la energía.

En la mayor parte de oficinas y fábricas se ha creado una dependencia de las operaciones por computadoras, dando lugar a que un solo apagón puede ser muy costoso. Por ejemplo, una fábrica de vidrio en 1993 estimó que una interrupción por menos de una décima de segundo puede costar tanto como \$200,000 USD, cuando una computadora central experimenta una segunda interrupción puede costar \$600,000 USD y perder hasta dos horas de procesamiento de datos. De acuerdo a *Science* (“Editorial: Magnetic Energy

Storage” octubre 7 de 1994), el costo de las fluctuaciones de energía en los Estados Unidos fluctuó en un rango de \$12 a \$26 billones USD [Kennedy 2000].

Desde el descubrimiento de la energía eléctrica hace 400 años, la generación, distribución y los usuarios de la electricidad han estado desarrollando nuevos e innovadores medios de generar y usar la electricidad, lo que causó en su momento una revolución industrial. Además de la contribución de ingenieros, científicos y demás personas que han contribuido con una continua evolución de los sistemas eléctricos.

Al principio las máquinas eléctricas y mecanismos eran buenos pero no generaban demasiadas utilidades, debido a que consumían grandes cantidades de energía eléctrica, lo cual era costoso y por lo tanto no tenían un buen desempeño. Estas máquinas eran probablemente susceptibles a cualquier anomalía en la calidad de la energía existente en el tiempo, pero los efectos no eran realmente perceptibles, en primer lugar por lo robusto de las máquinas y en segundo, por la falta de efectivas formas de medición para la calidad de la energía [Kennedy 2000].

Debido al problema de que las máquinas consumían bastante energía eléctrica, desde hace varias decenas de años la industria tuvo que velar por la necesidad de que sus productos fueran competitivamente económicos, lo que significó que las máquinas eléctricas empezaran a ser mas pequeñas, mayormente eficientes y sin márgenes de desempeño, como consecuencia comenzaron a ser más sensibles a variaciones de energía.

Otro punto, es el hecho de que cada vez se necesitan mayores volúmenes de energía eléctrica, debido al estilo de vida que lleva la sociedad. Por lo cual las empresas eléctricas ya no solo tienen una red independiente, sino una enorme malla de redes todas ligadas. La combinación de estos factores crearon que el sistema eléctrico requiriera de monitoreo y control de la calidad de energía eléctrica suministrada [Dugan et al. 1996].

Los problemas de calidad de energía ocurren cuando la onda sinusoidal de voltaje alterno a 60 Hz se distorsiona. En el pasado, muchos de los equipos que consumían energía toleraban un alto grado de distorsión. Hoy, computadoras muy sensibles y controladores requieren de una fuente de energía de gran calidad y mejor confiabilidad que el estándar [Kennedy 2000]. Por ejemplo un controlador electrónico del tamaño de una caja de zapatos, puede controlar eficientemente el desempeño de un motor de 500 hp, siendo este poderoso motor un cuanto inmune a problemas de calidad de la energía, pero el controlador



no lo es. Por lo cual da como resultado que el sistema motor-controlador es muy sensible a problemas de calidad de energía.

Los ingenieros electricistas siempre han estado preocupados por la calidad de la energía. Ellos ven la calidad de la energía como cualquier fenómeno que afecte el voltaje, corriente y la frecuencia de la energía entregada al usuario final.

En el *Electric Power Research Institute* se han estado estudiando los problemas y soluciones de la calidad de energía por más de 10 años. *Electrotek Concepts* ha sido el contratista de muchas de éstas investigaciones, incluyendo alrededor de 50 casos de calidad de la energía estudiados en los usuarios finales [Dugan et al. 1996].

Algunos de los personajes que han trabajado en esta área son:

**Marek Samotyj** fue director de *Power Quality Business Unit at the Electric Power Research Institute* en Palo Alto, California. Él fue responsable de muchos de los casos estudiados de calidad de la energía y tecnología con actividades de transferencia que influenciaron la industria en los años de 1986 a 1996. También fue patrocinador internacional de conferencias de calidad de la energía desde 1988 y publicó numerosos documentos, artículos técnicos y reportes con todos los aspectos en calidad de la energía [Dugan et al. 1996].

**Rory V. Dwyer** es Senior Power Systems Engineer. Él trabajó con empresas eléctricas e ingenieros industriales para proteger equipo de los armónicos, transitorios y sags de voltaje [Dugan et al. 1996].

**Erich W. Gunther** fue director de tecnología. Él desarrolló el SuperHarm<sup>®</sup> y TOP<sup>®</sup> los cuales son programas de computadora para el análisis de armónicos y transitorios, también tiene una relación muy estrecha con CIGRE y CIRED las cuales son empresas relacionadas con la actividad de calidad de la energía para SCC-22 y P1159 [Dugan et al. 1996].

**Afroz Khan** es Ingeniera en Sistemas de Potencia. Ella ha sido involucrada en el análisis de los efectos que producen los armónicos por lámparas fluorescentes compactas en el

sistema de distribución y el apoyo del programa de computadora SuperHarm<sup>®</sup> [Dugan et al. 1996].

**Jeffrey D. Lamoree** es presidente de EnerNex<sup>®</sup> Corporation y es responsable de la dirección del trabajo técnico y financiero de la corporación. Él ha estado involucrado en ingeniería de sistemas de potencia y buscador de descubrimientos por más de 15 años [EnerNex 2006]. Él codujo el monitoreo de calidad de la energía y proyectos de análisis envolviendo la relación entre la empresa eléctrica y el usuario final [Dugan et al. 1996].

**Christopher J. Melhorn** es supervisor de aplicaciones industriales. Él coordinó proyectos envolviendo el monitoreo de calidad de la energía y simulación para clientes industriales y comerciales. Él ha desarrollado software para instrumentos de monitoreo, incluyendo el software FlukeWiew<sup>®</sup> para el Fluke 97 y Fluke 41 [Dugan et al. 1996].

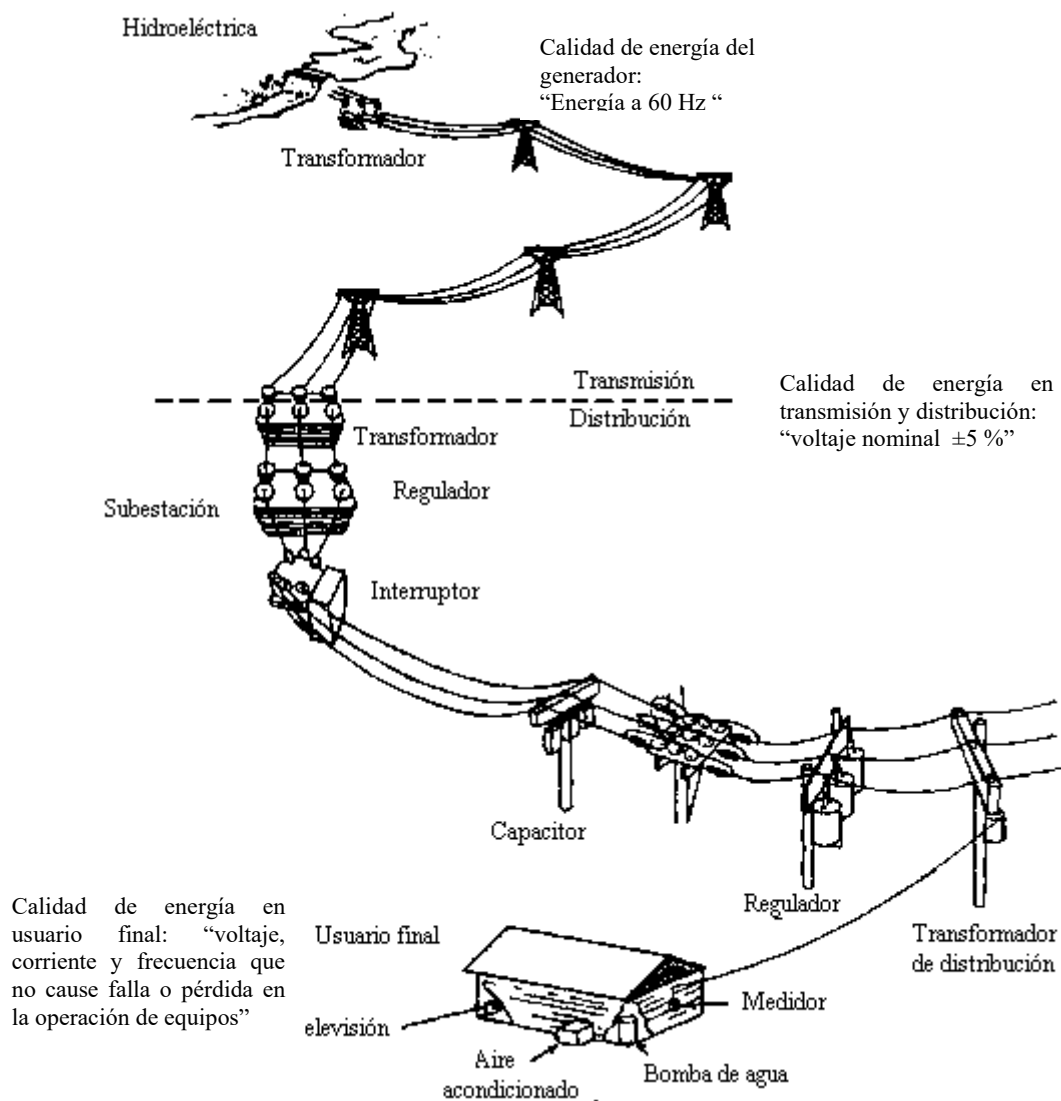
**Jack A. King** fue gerente de desarrollo de software. Él desarrolló numerosos programas de computadora para el análisis de calidad de la energía incluyendo PASS<sup>®</sup> software por BMI 8010 PQNode<sup>®</sup> [Dugan et al. 1996].

### **Definición de calidad de la energía**

Calidad de la energía puede ser definida desde dos perspectivas diferentes, dependiendo de si se suministra o se consume la electricidad. La calidad de la energía en un generador usualmente se refiere a su capacidad de generar energía a 60 Hz con ligeras variaciones, pero cuando se refiere a niveles de transmisión o distribución los límites permisibles son dentro de más menos 5% [Kennedy 2000].

Ferry Heydt en *Electric Power Quality* define Calidad de Energía como “la medida, análisis y mejoramiento de los buses de voltaje, usualmente en los lugares de carga, para mantener el voltaje sinusoidal dentro de un umbral de voltaje y frecuencia.” Roger Dugan, Mark McGranaghan y Wayne Beaty en *Electrical Power System Quality* define la calidad de energía como “cualquier problema manifestado en voltaje, corriente o frecuencia derivados de los resultados en fallas o pérdidas de operación en la empresa eléctrica y

equipo de usuarios finales”. En la Figura 0.1 se ilustran los diferentes significados de calidad de la energía, de acuerdo a si se trata de generación, transmisión o distribución y usuarios finales [Kennedy 2000].



**Figura 0.1** Definiciones de Calidad de la Energía. (Bonneville Power Administration.)

El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) *Standard IEEE 1000* define la calidad de la energía como “el concepto de energía y aterrizamiento de equipo electrónico sensible en un modo adecuado para el equipo”.

## **Objetivos de la tesis**

El objetivo general de éste trabajo es la clasificación de los eventos registrados en un alimentador de media tensión en distribución de 13.8 KV que afectan la calidad del servicio de energía eléctrica al usuario.

La clasificación de cada evento por separado, de acuerdo a la categoría a la que pertenezcan, tales como:

- Transitorios.
- Variaciones de corta duración.
- Variaciones de larga duración.
- Voltaje desbalanceado.
- Fluctuaciones de voltaje.

Una vez hecha la clasificación, se procederá a encontrar las características de cada uno de ellos, tomando como base la clasificación que hace *The IEEE Std 1159 “IEEE recommended practice for monitoring electric power quality”, Working group on monitoring electrical power quality of SCC22-Power Quality, Draft 6 de Noviembre, 1989.*

Los objetivos particulares son:

- Desarrollar un trabajo profesional académico que reúna los requisitos de fondo y forma, que permitan alcanzar el grado de Ingeniero Electricista.
- El estudio de calidad de la energía eléctrica, ya que es un área de importancia para los ingenieros electricistas que están interesados en estudiar sistemas eléctricos.

## **Justificación**

En el presente tema de tesis a desarrollar se analizarán los diferentes tipos de fenómenos de calidad de la energía registrados en un alimentador de distribución de 13.8 KV, con mediciones físicas reales, registradas de un sistema real, con eventos capturados en el periodo de lluvias transcurrido durante cuatro meses, del 28/06/2004 al 22/10/2004.

Con la consideración de que el tema a desarrollar en la presente tesis, es de gran interés debido a que es un tema el cual tiene mucho auge en la actualidad, ya que cada día la nueva tecnología con la meta de miniaturizar, optimizar y tener un gran desempeño (ya sea en circuitos electrónicos o en máquinas), necesitará de sistemas más confiables y con más calidad, los cuales proveen la energía eléctrica que necesitan para su óptimo funcionamiento.

Por la necesidad de tener sistemas eléctricos con calidad, y siendo los ingenieros la base de su desarrollo e innovación, es de gran importancia analizar como se comporta el suministro de energía eléctrica, y así de esta manera poder dar una solución a los problemas presentados, para poder entregar un producto de mayor calidad que satisfaga las necesidades de los usuarios.

## **Metodología**

La metodología que se utilizará para el análisis de los fenómenos será primeramente el estudio del funcionamiento y las características con las que cuenta el instrumento de medición con el cual fueron capturados los eventos a analizar, dicho instrumento es un equipo de monitoreo de energía *The Drantex-BMI Power Platform PP1* el cual puede cambiar su tipo de monitoreo hacia fenómenos específicos, con solo cambiar la tarjeta de análisis *TASKCard*.

La tarjeta que se utilizó se llama PQPlus TASKCard la cual convierte al equipo PP1 en un monitor de calidad de la energía que puede grabar sags, swells, transitorios, apagones, energía y armónicos [Power Platform PP1 1997].

Posteriormente se estudiarán los archivos grabados por el PP1 en una computadora, por medio del software Dran-View PRO Version 4.0 de DRANETZ-BMI que permite ver datos en la PC, provenientes del analizador PP1 con la tarjeta TASKCard PQPlus [Drand-View 1998], con las funciones de éste software se hará una clasificación de los eventos que se presentaron, conforme a las recomendaciones de IEEE 1159.

Se hará uso del software MatLab para la graficación de algunas formas de onda, que debido su duración y a las características del programa Dran-View no son presentadas en un solo registro. Esto se realizará para que exista una mejor apreciación de algunos eventos.

El estudio de calidad de la energía se puede dividir en dos grandes grupos, donde el primer grupo involucra estudios de estado estable de las ondas de voltaje y corriente, mediante la identificación de la distorsión armónica que se presenta y la propuesta de soluciones para la misma. El segundo grupo involucra distorsiones en voltaje y corriente, debidas a fenómenos de corta duración como son sags, swells, transitorios, etc. Éste tipo de estudios no involucra un análisis de la distorsión armónica debido a que ésta metodología no tiene como objetivo el estudio de fenómenos de corta duración. El presente trabajo enfoca su análisis a fenómenos del segundo grupo.

## **Descripción de los capítulos**

A continuación se presenta una breve descripción de los capítulos que conforman la presente tesis.

En el capítulo 1 se presenta los principales disturbios eléctricos que afectan la calidad de la energía eléctrica entregada a los usuarios. En éste también se señalan las principales causas y características de los fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia

En el capítulo 2 se describe las características y las condiciones en las cuales el equipo PP1-PQPlus estuvo monitoreando el alimentador de distribución de 13,800V, así como la cantidad de archivos que se grabaron.

En el capítulo 3 se hace el estudio y la clasificación de los eventos presentados en el alimentador de distribución en media tensión.

En el capítulo 4 se presentan las conclusiones obtenidas a lo largo de la investigación del trabajo realizado, así como trabajos futuros.

# Capítulo 1

## Características de la Calidad de la Energía

Un sistema de corriente alterna (ca) es diseñado para operar a un voltaje sinusoidal a una frecuencia (50 o 60 Hz) y a un nivel de tensión. Cualquier desviación significativa en la magnitud, frecuencia o simplemente en la forma de onda, es significado de un potencial problema de calidad de la energía, no se debe olvidar que existe una relación muy estrecha entre voltaje y corriente, ya que lo que afecta a la corriente, afecta al voltaje y viceversa.

### 1.1 Por qué la necesidad de calidad de la energía

La razón por la cual la sociedad tiene interés en calidad de la energía es porque ésta tiene un impacto económico directo en las empresas encargadas de la energía, así como también en los consumidores, ya que cualquier problema puede ocasionar perdidas de miles de dólares.

Microprocesadores y computadoras han invadido hogares, hospitales, bancos, oficinas, fábricas, etc. es decir están presentes en todas partes y es difícil imaginar la vida sin ellos. Pero ¿porque son tan sensibles? La razón es que los cerebros de las computadoras están hechos de circuitos integrados, y ellos son la fuente de la sensibilidad, por ejemplo el primer microchip inventado en 1958 solo tenía dos transistores que comparado con un *Intel Pentium II* que tiene 7.5 millones de transistores, se puede observar la gran diferencia. Como la manufacturación de chips para computadora pretende incrementar la densidad de componentes electrónicos en un chip, estos empezaron a ser más sensibles a cambios en el suministro de energía eléctrica [Kennedy 2000].

El requerimiento de calidad de la energía por parte de los equipos eléctricos se incremento probablemente a partir de los 90's, ya que anteriormente la mayoría de los equipos podían tolerar disturbios de  $\pm 5$  porciento del voltaje nominal, por ejemplo motores, lámparas incandescentes y calentadores por resistencia; podían tolerar decrementos e



incrementos de voltaje de 6V a 120V. En la Figura 1.1 se indica gráficamente donde se localiza el voltaje máximo y el voltaje mínimo en una onda de voltaje, parámetros que son necesarios para encontrar el voltaje nominal, como se muestra en la expresión (1.1),

$$V_{\text{nominal}} = \frac{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}}{2} \quad (1.1)$$

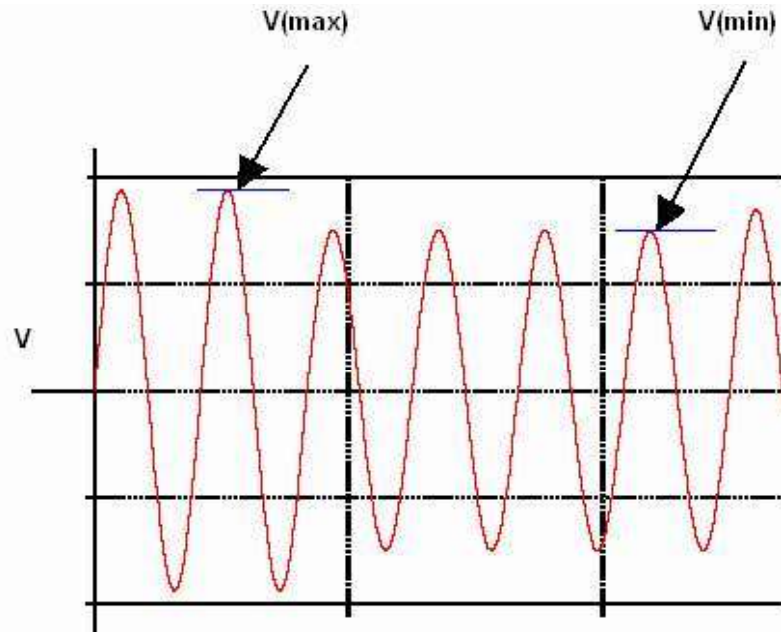


Figura 1.1 Onda sinusoidal de voltaje con los valores máximo y mínimo

Las empresas y los usuarios al tratar de combatir la gran sensibilidad por variaciones de voltaje en los microprocesadores, se enfrentaron con otro problema, el cual era que todos ellos usaban equipos que en si mismos causaban problemas de calidad de energía, por el hecho de que estos equipos representan cargas no lineales (las cargas no lineales se explican en la subsección 1.1.2).

### 1.1.1 Valor RMS

Una manera habitual de caracterizar el voltaje es expresarlo a través del valor eficaz, en inglés *root mean square* o rms. El valor eficaz o rms de una onda sinusoidal es la

raíz cuadrada del promedio del valor instantáneo del voltaje o corriente al cuadrado. Para una onda  $x(t)$  dada, el valor rms se encuentra mediante,

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (1.2)$$

sea  $x(t)$  de la forma,

$$x(t) = \sum_{n=1}^N X_n \text{Sen}(n\omega_0 t + \phi_n) \quad (1.3)$$

elevando  $x(t)$  al cuadrado se tiene,

$$x^2(t) = \sum_{n=1}^N X_n \text{Sen}(n\omega_0 t + \phi_n) \sum_{m=1}^N X_m \text{Sen}(m\omega_0 t + \phi_m) \quad (1.4)$$

de la ecuación (1.4) se tiene que,

$$\text{Sen}(x)\text{Sen}(y) = \frac{1}{2} [\text{Cos}(x-y) - \text{Cos}(x+y)] \quad (1.5)$$

ahora utilizando la identidad trigonométrica (1.5) en (1.4),

$$x^2(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \frac{X_n X_m}{2} [\text{Cos}((n-m)\omega_0 t + \phi_n - \phi_m) - \text{Cos}((n+m)\omega_0 t + \phi_n + \phi_m)] \quad (1.6)$$

sustituyendo (1.6) en (1.2), se tiene que será diferente de cero solo para cuando  $m=n$ ,

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sum_{n=1}^N \frac{X_n^2}{2} (1 - \text{Cos}(2n\omega_0 t + 2\phi_n)) dt} \quad (1.7)$$

de la ecuación (1.7) se tiene que,

$$(1 - \text{Cos}(2n\omega_0 t + 2\phi_n)) = 1 \quad (1.8)$$

simplificando (1.7) se obtiene,

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sum_{n=1}^N \frac{X_n^2}{2} dt} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N X_n^2}}{\sqrt{2}} \quad (1.9)$$

La siguiente ecuación se aplica para obtener el valor rms de onda puramente senoidal.

$$\text{valor } rms = \frac{\text{valor pico}}{\sqrt{2}} \quad (1.10)$$

en donde el valor pico es el máximo positivo o mínimo negativo de voltaje o corriente.

En la Figura 1.2 se muestra un ciclo de una onda de voltaje con su forma perfectamente sinusoidal; donde además se indica aproximadamente donde se encuentran los valores pico y rms.

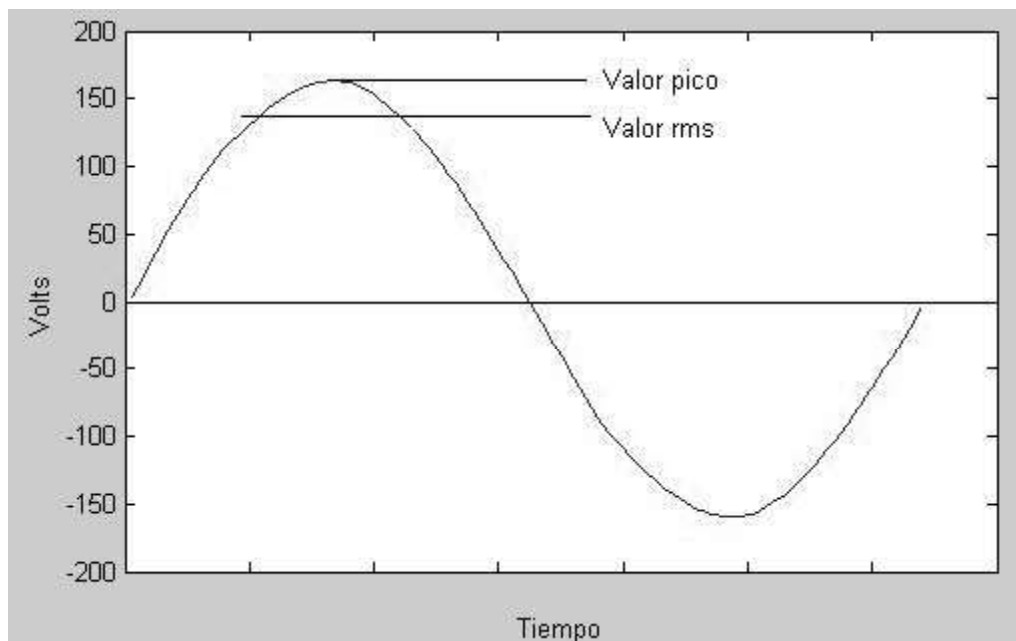


Figura 1.2 Forma de onda sinusoidal de voltaje

### 1.1.2 Cargas no lineales

Durante los últimos años se ha estado escuchando en la televisión, radio y por cualquier medio de comunicación acerca de la necesidad de ahorrar energía; así mismo, las mismas empresas eléctricas han recompensado a los usuarios por el ahorro de energía o el consumir hasta cierto nivel de energía.

Para lograr la disminución de éstos consumos, en las empresas se han instalado controles de velocidad para motores, los cuales son los más populares para el ahorro de energía en la industria. Estos aparatos utilizan lo último de controles electrónicos para controlar la velocidad de los motores y ofrecer el requerimiento de la carga. Aunque sean buenos para ahorrar energía, ellos son una fuente de distorsión de las ondas de corriente que ocasionan el problema, ya que representan un comportamiento de carga no lineal, así también lo causan balastros electrónicos para lámparas fluorescentes, máquinas para soldar por arco eléctrico, entre otras. Una carga se dice "lineal" cuando la corriente que ella absorbe tiene la misma forma que la tensión que la alimenta. Esta corriente no tiene componentes armónicos solo la onda de corriente fundamental. Ejemplo: resistencias de convectores, cargas inductivas en régimen establecido (motores, transformadores, etc.). En la Figura 1.3 se muestra la forma de onda que representa una carga lineal.

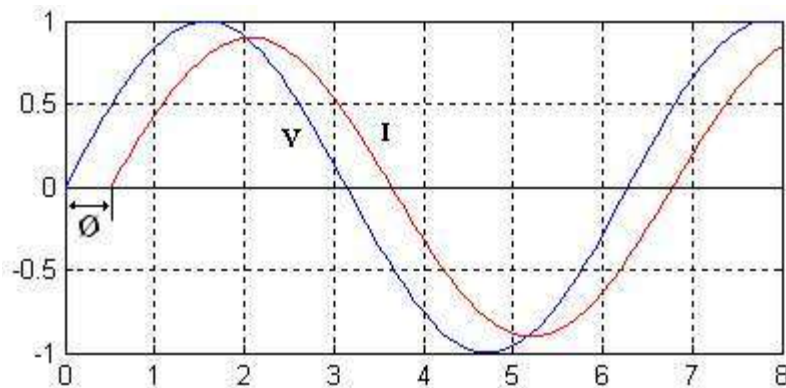


Figura 1.3 Forma de onda de una carga lineal

La causa por la cual se ocasionan cargas no lineales es porque se incrementan o reducen el consumo de electricidad sobre el tiempo en una forma no lineal. Con cargas no lineales la corriente y el voltaje no sigue el uno al otro en una forma lineal. El artículo 100 de NEC (Código Nacional Eléctrico) define a una carga no lineal como: “una carga donde

la forma de onda del estado estable de corriente no sigue la forma de onda del voltaje aplicado”. Usualmente ocurre cuando la carga no es puramente resistiva, capacitiva o inductiva [Kennedy 2000]. IEEE define a una carga no lineal como “una carga que dibuja una onda de corriente no sinusoidal cuando es suministrada por una fuente de voltaje ideal sinusoidal” [IEEE Std 519 1992]. En la Figura 1.4 se muestra una carga no lineal, en la cual se observa que la corriente ya no sigue la forma de onda del voltaje aplicado en que se comportaría una carga lineal.

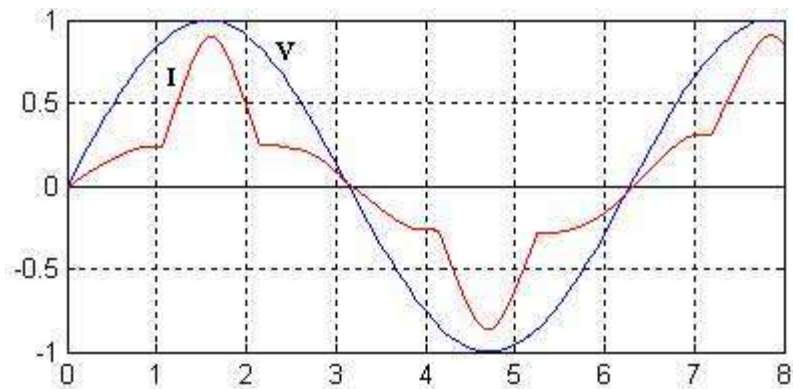


Figura 1.4 Forma de onda de una carga no lineal

## 1.2 Tipos de problemas de calidad de la energía

En años pasados, por el esfuerzo internacional de estandarizar definiciones del término de calidad de energía el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos *Standard Coordinating Committee 22* (IEEE SCC22) ha dejado el principal esfuerzo en los Estados Unidos para coordinar los estándares de calidad de energía. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) clasifica los fenómenos electromagnéticos en los grupos mostrados en la Tabla 1.1 [IEC 1991].

En la clasificación que realizan estas organizaciones se toma el término evento como un fenómeno el cual solamente ocurre una vez en un instante [Bollen 2000].

Tabla 1.1 Principales fenómenos causantes de disturbios electromagnéticos clasificados por la IEC

Fenómeno conductor de baja frecuencia
Armónicos, ínter armónicos
Señal de sistema
Fluctuaciones de Voltaje
Voltaje dips e interrupciones
Voltaje desbalanceado
Variación de frecuencia
Voltajes de baja frecuencia inducidos
cd en ca redes
Fenómeno de radiación de baja frecuencia
Campo magnético
Campo eléctrico
Fenómenos de conducción de alta frecuencia
Inducción de ondas continuas de voltaje o corriente
Transitorio unidireccional
Transitorio oscilante
Fenómenos de radiación de alta frecuencia
Campo magnético
Campo eléctrico
Campo electromagnético
Ondas continuas
Transitorios
Fenómeno de descarga electrostática (ESD)
Pulso electromagnético nuclear (NEMP)

En Estados Unidos la industria de energía ha hecho un esfuerzo por recomendar practicas de monitoreo de calidad de la energía eléctrica, se han agregado algunos pocos términos a la terminología que IEC hace [IEEE P1159 1994].

La Tabla 1.2 muestra la categorización de fenómenos electromagnéticos usada por la Comunidad de Calidad de la Energía, además de ser esta tabla la base para la clasificación de los eventos. Esta tabla provee información con respecto al contenido espectral, duración, y magnitud apropiado para cada categoría de fenómenos electromagnéticos [IEC 1991, [ECM 1992], [UIE 1992].

Tabla 1.2 IEEE 1159. (*Recommended Practice for Monitoring Electric Power*)  
Categorías y características de fenómenos Electromagnéticos en Sistemas de Potencia

Categorías	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 $\mu$ s de elevación	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilaciones			
1.2.1 Baja Frecuencia	<5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 – 500 kHz	20 $\mu$ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0,5 - 5 MHz	5 $\mu$ s	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Interrupción		0.5 - 30 ciclos	< 0.1 pu
2.1.2 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		30 ciclos - 3 seg	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3 seg	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3 seg	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3 seg - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 seg - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Swell		3 seg - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajovoltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0.5 – 2%
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado Estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 - 100th H	Estado Estable	0 – 20%
5.3 Interarmónicas	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 – 2%
5.4 Muecas en el voltaje		Estado Estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado Estable	0 – 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 – 7%
7.0 Variaciones en la Frecuencia		<10 seg	

Partiendo de la Tabla 1.2, se hace una explicación más gráfica, expresando los diferentes tipos de eventos que se pueden presentar, así como sus respectivos umbrales. Por ejemplo se muestra que mientras el voltaje este dentro del margen de entre un 90% y 110%, el estado de voltaje es con una operación normal, de esta manera al sobrepasar cualquiera de estos umbrales, la categoría que se le asigna al evento es dependiendo de la duración del mismo. Ésta forma de representar los diferentes fenómenos para el voltaje se muestra en la Figura 1.5 que es definida por IEEE Std. 1159-1995 [Bollen 2000].

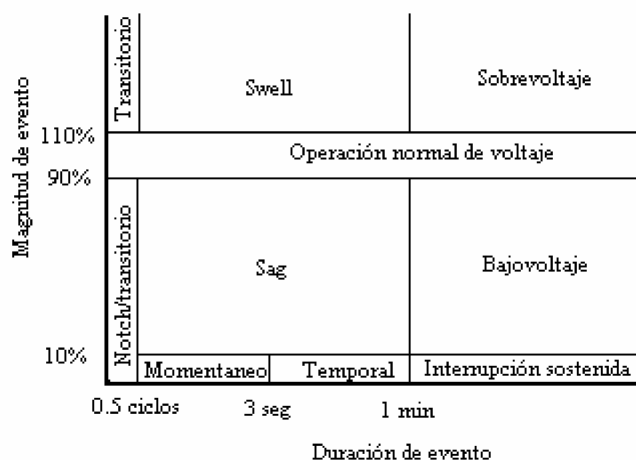


Figura 1.5 Definiciones para eventos de voltaje usada por IEEE Std. 1159-1995.

### 1.3 Transitorios

El término *transitorio*, ha sido utilizado por mucho tiempo en el análisis de sistemas de potencia para denotar un evento que es indeseado pero momentáneo [Dugan et al. 1996]. Otra definición usada muy ampliamente de transitorio es “aquella parte de una carga en una variable que desaparece durante la transición de una condición de operación en estado estable a otra” [Kennedy 2000], desafortunadamente ésta definición puede ser usada para describir cualquier cosa que ocurra en un sistema de potencia.

Aunque afortunadamente los transitorios ocasionados por las descargas atmosféricas tienden a desaparecer rápido, estos pueden ser capaces de destruir chips de computadoras y televisores.



Los transitorios pueden ser clasificados en dos categorías: impulsos y oscilaciones, los cuales se describen más a detalle en las dos subsecciones siguientes.

### 1.3.1 Impulsos transitorios

Un *impulso transitorio* es repentino y de muy alta frecuencia, no cambia la frecuencia en condiciones de estado estable de voltaje, corriente o ambos, es unidimensional en polaridad (positiva o negativa). En la Figura 1.6 se muestra un impulso transitorio en la onda de voltaje ocasionada por una descarga atmosférica.

Los impulsos transitorios son normalmente caracterizados por su elevación y decaimiento en el tiempo. Éstos pueden ser descubiertos por su contenido espectral. De acuerdo con Tabla 1.2 (mostrada en este capítulo) se tiene la categoría que la Comunidad de Calidad de la Energía asigna para los impulsos transitorios los cuales de acuerdo a su contenido espectral son clasificados en:

- Nanosegundo, con duración menor de 50 ns.
- Microsegundo, con duración entre 50 ns – 1 ms.
- Milisegundo, con duración mayor de 1ms.

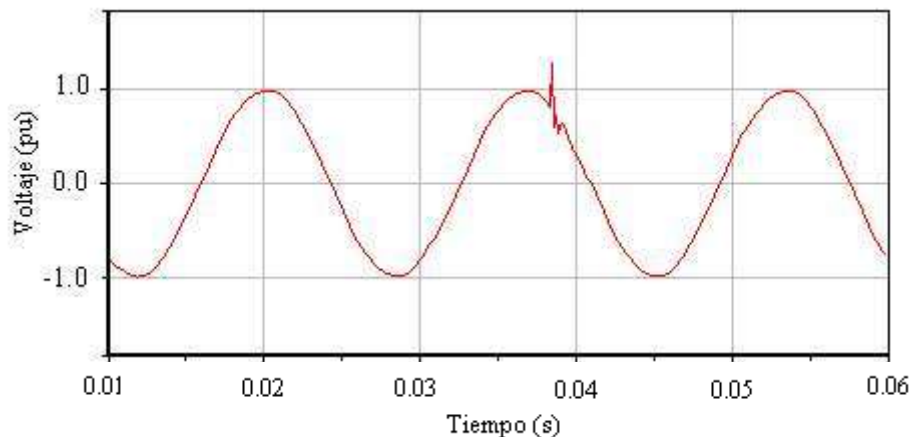


Figura 1.6 Gráfica de impulso transitorio

La causa más común de impulsos transitorios son las descargas eléctricas (rayos). Los impulsos transitorios pueden existir en la frecuencia natural de los circuitos de potencia y pueden producir oscilaciones transitorias.

### 1.3.2 Oscilaciones transitorias

Una oscilación transitoria coexiste de un voltaje o corriente cuyo valor instantáneo cambia rápidamente de polaridad; la cual es descrita por su contenido espectral (frecuentemente predominante), duración y magnitud. El contenido espectral contiene subclases las cuales son definidas en la Tabla 1.2 y son:

- Baja frecuencia, con un contenido espectral mayor de 5 KHz.
- Media frecuencia, con un contenido espectral entre 5 – 500 KHz.
- Alta frecuencia, con un contenido espectral entre 0.5 – 5 MHz.

Los rangos de frecuencia para esta clasificación fueron escogidos para coincidir con los tipos comunes de fenómenos de oscilaciones transitorias en sistemas de potencia [Dugan et al. 1996].

Las causas que pueden provocar oscilaciones transitorias son: la energización de bancos de capacitores, la conmutación de cables o pueden ser el resultado de la respuesta del sistema a un impulso transitorio. En la Figura 1.7 se ilustra el fenómeno de una oscilación transitoria de baja frecuencia ocasionada por la energización de un banco de capacitores, siendo ésta la más frecuente de las oscilaciones transitorias.

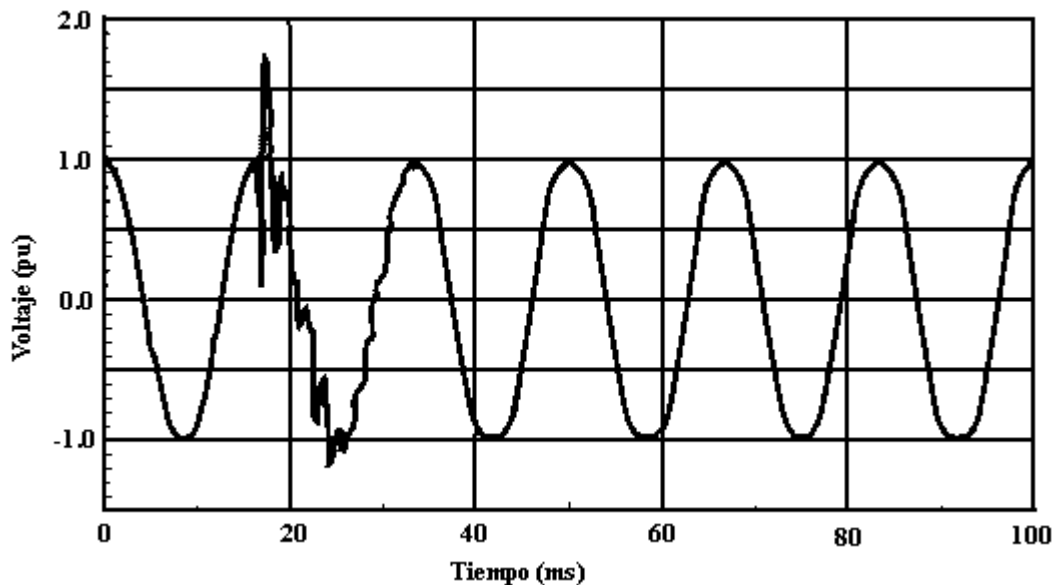


Figura 1.7 Gráfica de oscilación transitoria de baja frecuencia causada por la energización de un banco de capacitores

## 1.4 Variaciones de corta duración

Los tipos de variaciones pueden ser designados como *instantáneos*, *momentáneos* o *temporales*, dependiendo de su duración como lo define la Tabla 1.2. Las variaciones de corta duración pueden ser causadas por condiciones de falla, energización de grandes cargas que requieren de altas corrientes o diferentes pérdidas de conexión en líneas de energía. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema, puede causar cualquier depresión temporal de voltaje (*sags*), elevación de voltaje (*swells*) o pérdida completa de voltaje (*interrupción*), la condición de falla puede estar cerca o lejos del punto de interés.

### 1.4.1 Interrupción

Una *interrupción* ocurre cuando la alimentación de voltaje o carga de corriente decrece menos de 0.1 pu por un periodo de tiempo que no exceda 3600 ciclos (1 minuto).

La falla de un sistema de potencia, el mal funcionamiento de equipo eléctrico o el mal funcionamiento de controles, pueden ser la causa de una interrupción. La interrupción es medida por su duración desde una magnitud de voltaje que siempre es menor de 10 por ciento del nominal [Kennedy 2000]. En la Figura 1.8 se muestra una interrupción de voltaje.

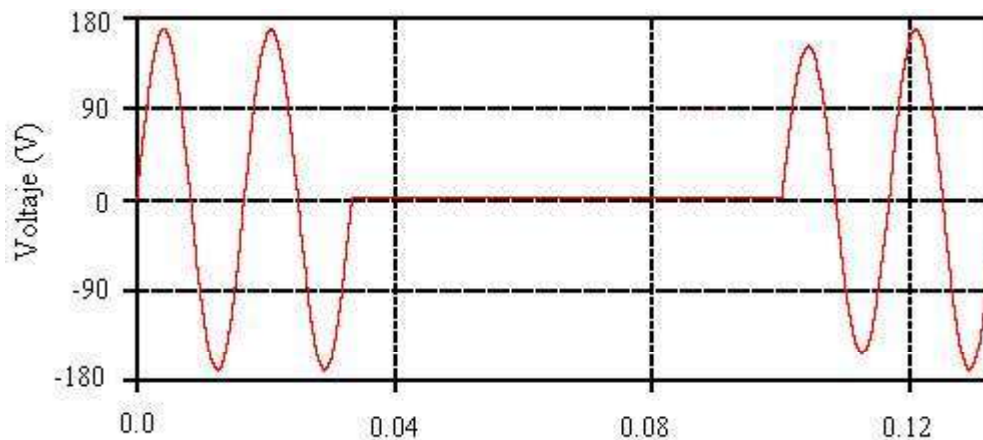


Figura 1.8 Interrupción de voltaje

### 1.4.2 Sags

Un Sag es la disminución entre 0.1 y 0.9 pu del voltaje o corriente en valor rms a frecuencia constante (60Hz) con duración de 0.5 ciclos (8 milisegundos) a 3600 ciclos (1 minuto) [Dugan et al. 1996]. Las empresas eléctricas y los usuarios finales pueden causar sags en el sistema de transmisión o distribución, siendo la causa principal los cortos circuitos [Lamoree et al. 1993], por ejemplo la falla en un transformador puede ser el evento inicial que cause una falla en el sistema de potencia que resultará en un sag, también por la energización de cargas pesadas o el arranque de motores grandes [Kennedy 2000]. En la Figura 1.9, se presenta el ejemplo de una onda distorsionada por un sag de voltaje. De acuerdo a su duración los sags son subdivididos en tres categorías:

- Instantáneas, de 0.5 a 30 ciclos (8 milisegundos a 0.5 segundos).
- Momentáneas, de 30 ciclos a 3 seg.
- Temporales, de 3 seg a 1min.

Las consecuencias de un sag pueden ocasionar la falla de una computadora, apagar un drive de velocidad ajustable y en motores los puede atascar o sobrecalentar.

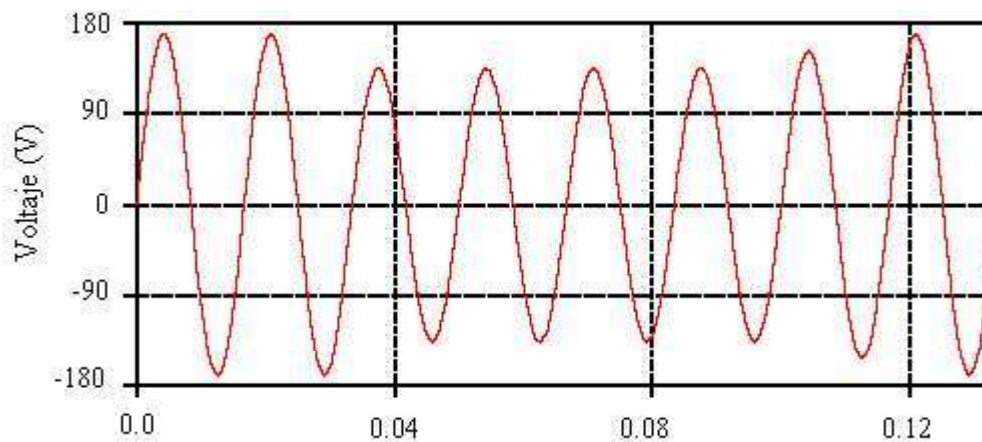


Figura 1.9 Gráfica de un sag de voltaje

Los sags de voltaje no son repetitivos, o se repiten sólo unas pocas veces debido a la operación de un recierre. Los sags pueden ocurrir en varias fases o en sólo una de ellas y puede ser acompañada de swells de voltaje en otras fases.

### 1.4.3 Swells

Un *swell* es definido como un incremento de entre 1.1 y 1.8 pu en voltaje o corriente en valor rms a frecuencia constante (60 Hz) con duración de 0.5 ciclos a 3600 ciclos [Dugan et al. 1996]. Los swells de voltaje ocurren con menos frecuencia que un sag de voltaje.

Un swell puede ser causado por la acción de abrir un interruptor que alimenta grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores, también puede ocurrir una elevación temporal de voltaje en cualquiera de las fases no caídas durante la falla de una sola línea a tierra.

Los swell se caracterizan por su magnitud rms y duración. La severidad de un swell de voltaje durante una condición de falla está en función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y el aterrizamiento. En la Figura 1.10 se muestra una elevación del voltaje, por casi cuatro ciclos.

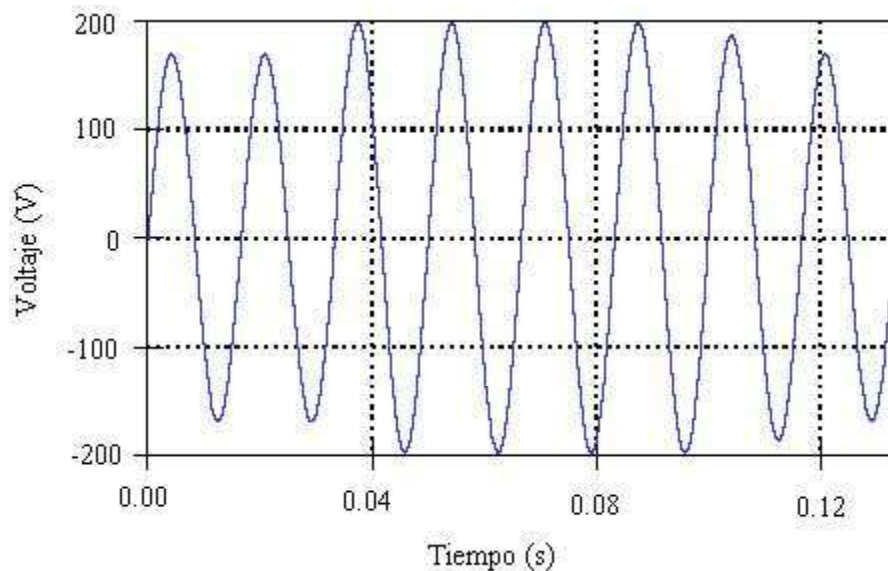


Figura 1.10 Gráfica de un swell de voltaje

## 1.5 Variaciones de larga duración

Las variaciones de larga duración abarcan desviaciones rms a frecuencia constante (60Hz) por más de un minuto. Una variación de voltaje es considerada de larga duración

cuando excede los límites de la ANSI (Instituto Nacional Americano de Estándares) por más de 1 minuto.

Las variaciones de larga duración pueden ser sobrevoltaje o bajovoltaje. Los cuales no son considerados como el resultado de una falla en el sistema, pero pueden ser causados por la variación de cargas en el sistema y la operación de interruptores.

### 1.5.1 Interrupción sostenida

Si el suministro de voltaje ha sido cero (pérdida completa de voltaje) por un periodo de tiempo que excede a 1 minuto, la variación de voltaje de larga duración es considerada como una *interrupción sostenida*. Una interrupción de voltaje mayor que 1 minuto, con frecuencia es permanente y requiere de la intervención humana para reparar y restaurar el sistema.

### 1.5.2 Bajovoltaje

Un *bajovoltaje* es un decremento en el valor rms entre 90 y 80 por ciento a una frecuencia constante (60Hz), con una duración mayor de 1 minuto.

El energizar una carga o la desenergización de un banco de capacitores puede causar un bajovoltaje, así como también lo pueden causar los circuitos sobrecargados. En la Figura 1.11 se ilustra una gráfica típica de bajovoltaje versus tiempo.

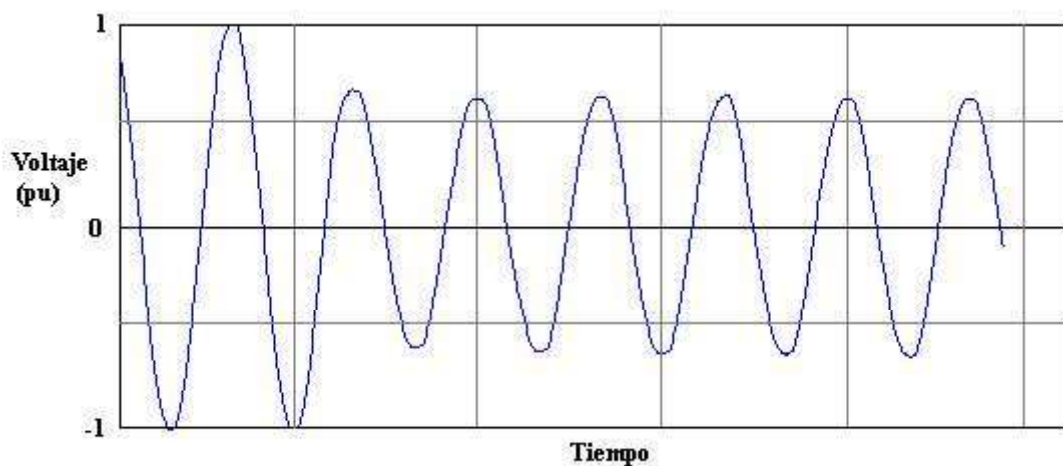


Figura 1.11 Gráfica de bajovoltaje

### 1.5.3 Sobrevoltaje

Un *sobrevoltaje* tiene mucho parentesco con un swell de voltaje, excepto porque son más largos. Son considerados como un incremento que excede el valor rms de voltaje mayor de 110 por ciento, con duración mayor de 1 minuto. Los sobrevoltajes son usualmente el resultado de la energización de capacitores, ya que adicionan voltaje al sistema. La desenergización de grandes cargas, así mismo como la incorrecta posición del tap en los transformadores que pueden provocar un sobrevoltaje en el sistema.

### 1.6 Fluctuaciones de voltaje (*flicker*)

Fluctuaciones de voltaje son variaciones sistemáticas en el voltaje que ocurren rápidamente ocasionados por un rápido y elevado incremento en la carga. La magnitud de tales fluctuaciones no se excede normalmente a los rangos de voltaje especificados por ANSI C84.1-1982 [ANSI 1982], que son de 0.9 a 1.1 pu. La fluctuación de voltaje es causada comúnmente por cargas que varían rápidamente y que requieren de una gran cantidad de potencia reactiva tales como soldadoras eléctricas, molinos ó trituradoras de rocas, aserraderos, martilladores de madera y parques de diversión. En la Figura 1.12 se muestra la forma que tiene una fluctuación de voltaje, donde se aprecia que el voltaje disminuye en dos ocasiones tres y tres ciclos. El termino *flicker* (parpadeo) es derivado del impacto de las fluctuaciones de voltaje sobre la lámparas, las cuales son perceptibles para el ojo humano.

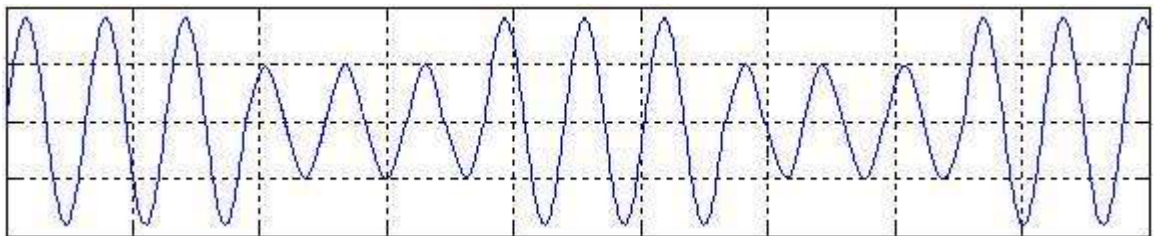


Figura 1.12 Ejemplo de una fluctuación de voltaje (*flicker*)

## 1.7 Desbalance en voltaje

El voltaje desbalanceado es algunas veces definido como una de las máximas desviaciones del promedio del voltaje o corriente de tres fases, dividido entre el promedio del voltaje o corriente de tres fases, expresado en por unidad.

El desbalance puede ser definido usando componentes simétricas. La relación de cada componente de secuencia negativa o secuencia cero, con la componente de secuencia positiva, puede ser usada para especificar el porcentaje de desbalance [Dugant et al. 1996].

## 1.8 Distorsión de forma de onda

La *distorsión de forma de onda* es definida como una desviación del estado estable de una onda sinusoidal ideal, a frecuencia del sistema, la cual se caracteriza por la desviación de su contenido espectral.

### 1.8.1 Muecas en el voltaje (*Notches*)

Un *Notche* es un disturbio periódico de voltaje causado por la operación normal de equipos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Cuando los notches ocurren continuamente, pueden ser caracterizados por medio del espectro armónico del voltaje afectado. En la Figura 1.13 se muestra un ejemplo de notches de voltaje causados por un convertidor trifásico que produce corriente cd.

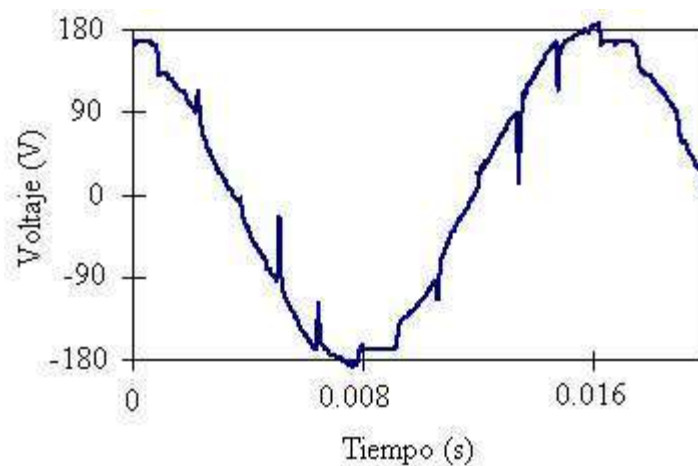


Figura 1.13 Ejemplo de notches de voltaje causado por un convertidor trifásico.



### 1.8.2 Ruido

El *ruido* es definido como una señal eléctrica no deseada con un espectro de ancho de banda menor que 200 KHz. superpuesta al voltaje o corriente del sistema de potencia en las fases conductoras (superpuesta a la onda fundamental de 60 Hz), también se encuentra en el neutro o en líneas de señal. El ruido en un sistema de potencia puede ser causado por equipos de electrónica de potencia, control de circuitos, equipo de arco eléctrico, por el arco de la operación de un interruptor, las estaciones de radio y televisión, lámparas fluorescentes. En la Figura 1.14, se muestra como el ruido eléctrico esta superpuesto en la onda sinusoidal fundamental.

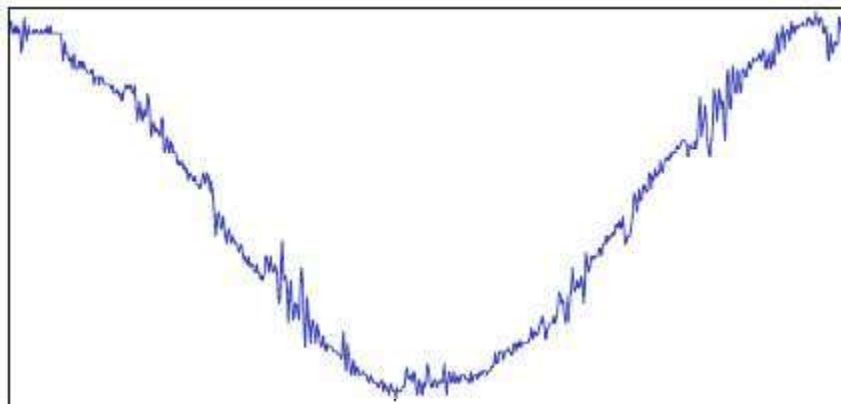


Figura 1.14 Gráfica de ruido eléctrico

El ruido eléctrico puede degradar equipo de telecomunicaciones, radio y receptores de TV. Hay dos formas de resolver el problema del ruido eléctrico, la primera es eliminando la fuente del ruido eléctrico y la otra es detener o reducir el ruido eléctrico proveniente de la transmisión.

### 1.8.3 Armónicos

Los *armónicos* son la mayor fuente de distorsión de una forma de onda sinusoidal. El incremento del uso de equipo no lineal ha causado que los armónicos empezaran a ser más comunes. Los armónicos son múltiples integraciones de la frecuencia fundamental de una onda sinusoidal.

IEEE define a los armónicos como “una componente sinusoidal de una onda periódica o cualquiera teniendo una frecuencia que sea una múltiple integración de la frecuencia fundamental” por ejemplo, una componente cuya frecuencia es dos veces la frecuencia fundamental, es llamada segunda armónica [IEEE 519 1992].

La distorsión armónica es causada por equipos no lineales en el sistema. Un equipo no lineal es aquel en el cual la corriente no es proporcional al voltaje aplicado, por lo tanto cuando el voltaje aplicado es perfectamente sinusoidal el resultado es una corriente distorsionada, incrementando el voltaje en un poco porcentaje, causa que la corriente se duplique y tome una forma de onda diferente, esto es en esencia la fuente de distorsión armónica en un sistema. La Figura 1.15 muestra como los armónicos distorsionan la onda seno.

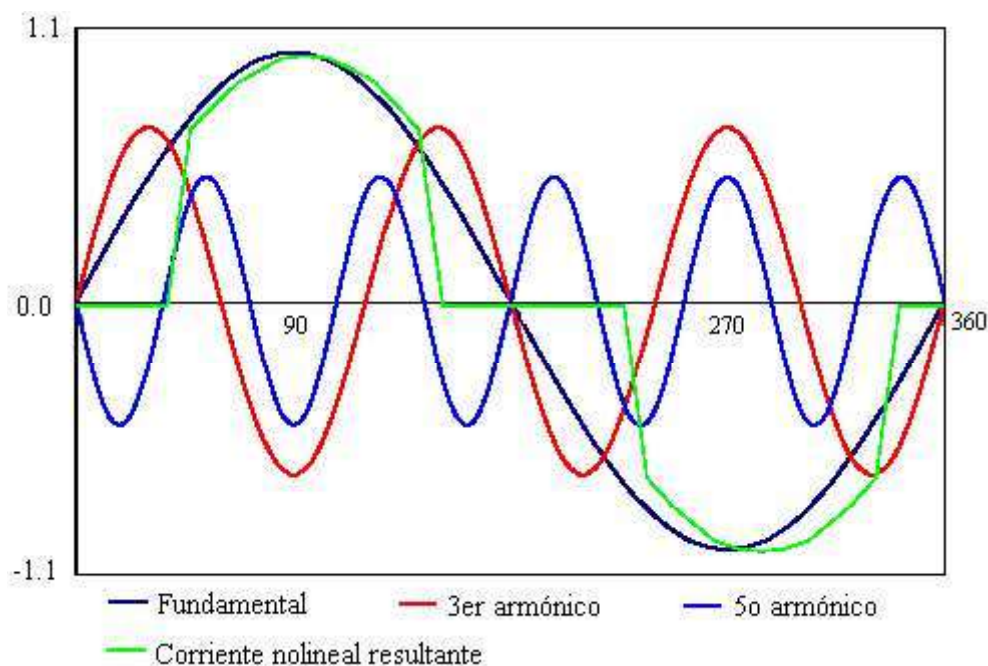


Figura 1.15 Composición armónica

Una forma de onda distorsionada puede ser expresada como una suma de ondas sinusoidales, cuando la forma de onda es idéntica de un ciclo al siguiente. Puede ser representada como una suma de puras ondas seno en las cuales la frecuencia de cada onda sinusoidal es un múltiplo de la frecuencia fundamental de una onda distorsionada. Éste

múltiplo es llamado un armónico de la fundamental. La suma de senoides se refiere a una serie de Fourier, después de que el gran matemático descubriera éste concepto.

La ventaja de usar series de Fourier para representar formas de onda distorsionadas es que es mucho más fácil encontrar respuestas del sistema a una entrada que es sinusoidal, de ésta manera el sistema se puede analizar con cada armónico por separado. Cuando la mitad del ciclo positivo y negativo tienen formas idénticas, la series de Fourier solo contiene armónicos impares.

Usualmente los armónicos de alto orden (alrededor de 25th o 50th armónico, dependiendo del sistema) son insignificantes para el análisis de sistemas de potencia. Cuando causan interferencia con equipos electrónicos de bajo poder, usualmente no perjudican al sistema de potencia.

## 1.9 Series de Fourier de ondas periódicas

Jean Baptiste Joseph Fourier demostró que una función periódica  $f(t)$  podía expresarse como la suma de funciones sinusoidales. Por lo tanto, este dato y el hecho de que si una función periódica se expresa como una suma de funciones linealmente independientes, cada función en la suma debe ser periódica con el mismo periodo T, y la función  $f(t)$  puede expresarse en la forma dada por, [Irwin 1997].

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (1.11)$$

donde:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (1.12)$$

$$C_0 = \frac{1}{2} a_0 \quad (1.13)$$

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (1.14)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \left( \frac{b_n}{a_n} \right) \quad (1.15)$$

y a su vez, los coeficientes pueden ser calculados usando,

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (1.16)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (1.17)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (1.18)$$

### 1.10 Distorsión armónica total

Hay muchas maneras de medición usadas para indicar el contenido armónico de una forma de onda con un solo número. La más común, es la distorsión armónica total (THD, *Total Harmonic Distortion*) la cual es calculada por su voltaje o corriente:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} M_h^2}}{M_1} \quad (1.19)$$

donde  $M_h$  es el valor rms de la componente armónica  $h$  de la cantidad  $M$  y  $M_1$  es el valor fundamental.

La THD se usa para definir el efecto de armónicos en el sistema de potencia, y puede ser usado en bajo voltaje, medio voltaje y alto voltaje en sistemas [IEEE Std 519 1992]. La distorsión total armónica es una medición del valor efectivo de las componentes armónicas de una forma de onda distorsionada.

El valor rms del total de forma de ondas no es la suma de las componentes individuales, pero es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, por lo tanto el valor rms es relacionado con THD de la siguiente manera:

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} M_h^2} = M_1 * \sqrt{1 + THD^2} \quad (1.20)$$

Los armónicos de voltaje son casi siempre referidos al valor fundamental de la forma de onda en el tiempo de la muestra, ya que los voltajes varían solo un poco porcentaje, entonces la THD de voltaje es siempre cercana a un número significativo. Esto no es el caso con la corriente, una corriente pequeña puede tener un alto nivel de THD, aunque no es una amenaza significativa para el sistema [Dugan et al. 1996].

Otra forma de medir la distorsión es por medio de la demanda de distorsión total o TDD (*Total Demand Distortion*). La TDD de la corriente  $I$  es calculada por la formula:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty} (I_h)^2}}{I_L} \quad (1.21)$$

donde:  $I_L$  = valor rms de la máxima demanda de corriente por la carga

$h$  = orden de armónico (1,2,3,4,etc.)

$I_h$  = corriente rms de carga para el orden  $h$  de armónico

## 1.11 Conclusiones

El suministro de energía eléctrica puede ser afectado por un sinnúmero de problemas, los cuales ocasionan que la electricidad tenga ciertos defectos en la calidad con que se entrega al usuario final. Por lo cual es de importancia analizar los problemas que afectan a los circuitos para de esta manera poder mejorar la calidad de la energía eléctrica.

## Capítulo 2

# Registro de Eventos

En éste capítulo se describen las características y condiciones en que se estuvo monitoreando el alimentador de distribución de 13,800 Volts.

### 2.1 Introducción

Las mediciones fueron realizadas con el equipo de monitoreo *Power Platform, Modelo PP1 de Dranetz-BMI* el cual puede cambiar el tipo de monitoreo cambiando la tarjeta *TASKCard*. El equipo cuenta con cuatro canales de voltaje aislados eléctricamente entre si y cuatro canales de corriente. La tarjeta utilizada en el equipo tiene el nombre de PQPlus TASKCard y la cual transforma al PP1 en un monitor de calidad de la energía, con la capacidad de registrar eventos de calidad de energía como son: sags, swells, y transitorios entre otros, a su vez, permite obtener registros de energía y la información de la distorsión armónica de las señales de corriente y voltaje. La Figura 2.1 muestra el equipo PP1.



Figura 2.1 Equipo PP1

Las mediciones de voltaje y corriente pueden ir acompañadas de otros parámetros calculados por el instrumento y que están disponibles en el equipo. El PP1-PQPlus también funciona como un medidor del ángulo de las fases, wattmetro, medidor de VAR, FP y medidor de frecuencia. La Tabla 2.1 muestra los parámetros, que el equipo PP1 tiene la capacidad de registrar, con las mediciones que realiza.

Tabla 2.1 Parámetros disponibles en el equipo PP1

Parámetros	Abreviación
Volts	V
Amps	I
Watts	W
Volt-Amperes	VA
Volt-Amperes Reactivos	VAR
Factor de Potencia	PF
Frecuencia	HZ
Voltaje desbalanceado	Vunb%
Distorsión Armónica de Voltaje	Vthd
Distorsión Armónica de Corriente	Ithd
Factor de Cresta Corriente	Icf
K-Factor	Kf
Armónicos de Voltaje N	VharmN
Armónicos de Corriente N	IharmN
Demanda	Dmd
Energía	WH

Las especificaciones para el PP1-PQPlus, como lo son parámetros de medición y parámetros computarizados, se encuentran en el Apéndice A

La clasificación que el instrumento PP1-PQPlus realiza para categorizar los eventos de voltaje son las que muestra la Tabla 2.2 que corresponde a la clasificación de IEEE 1159 [Power Platform PP1 1997].

Tabla 2.2 Clasificación para variaciones de voltaje del PP1

Categoría	Duración Típica	Magnitudes Típicas
<b>Variaciones de corta duración</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instantáneas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción</li> <li>• Sag</li> <li>• Swell</li> </ul> </li> <li>• Momentáneas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción</li> <li>• Sag</li> <li>• Swell</li> </ul> </li> <li>• Temporal                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción</li> <li>• Sag</li> <li>• Swell</li> </ul> </li> </ul>	1 - 30 ciclos 1 - 30 ciclos 1 - 30 ciclos  30 cycles - 3 sec 30 cycles - 3 sec 30 cycles - 3 sec  3 sec - 1 min 3 sec - 1 min 3 sec - 1 min	< 10% de V nominal < V limite bajo > V limite alto  < 10% of V nominal < V limite bajo > V limite alto  < 10% de V nominal < V limite bajo > V limite alto
<b>Variaciones de larga duración</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción</li> <li>• Sobrevoltaje</li> <li>• Bajovoltaje</li> </ul>	>1 min >1 min >1 min	< 10% de V nominal > V limite alto < V limite bajo t
$V_{nominal} = \frac{V_{highlimit} + V_{lowlimit}}{2}$		

## 2.2 Configuración de la conexión del PP1

El instrumento fue conectado en la salida de un circuito del bus de Media Tensión de una subestación de Distribución, a través de los devanados secundarios de los Transformadores de Potencial (TP) y Transformadores de Corriente (TC) como se muestra en la Figura 2.2, la subestación forma parte del sistema de distribución en la Zona Patzcuaro de la División Centro Occidente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), de la cual salen cuatro circuitos de distribución de 13,800 volts y uno de 34,500 volts.

Los ajustes del equipo fueron configurados para iniciar el registro al rebasarse el umbral de voltaje definiendo en un  $\pm 10\%$ , permitiendo así detectar eventos como Sag y



Swell, para un  $V_{min}=0.9$  pu y  $V_{max}=1.1$  pu, respectivamente. La Figura 2.2 muestra el diagrama unifilar de la conexión realizada durante el monitoreo del alimentador.

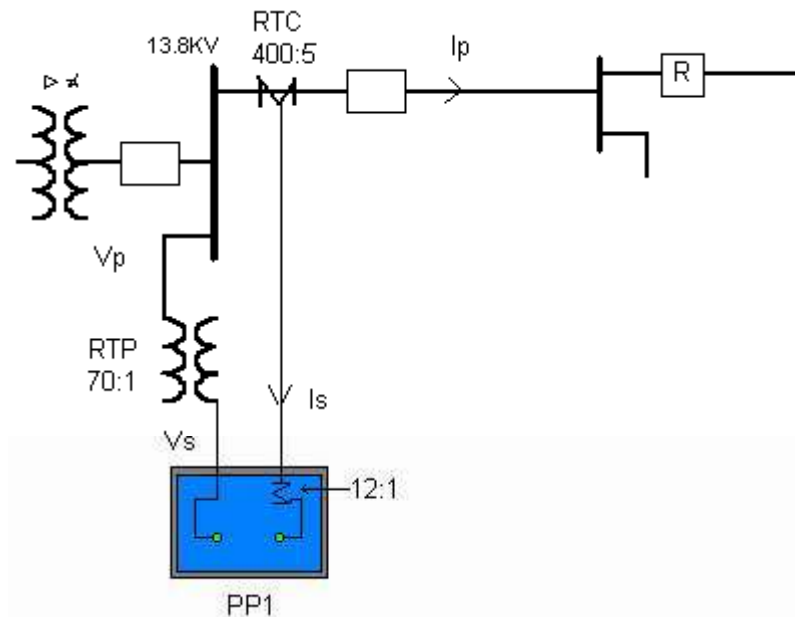


Figura 2.2 Diagrama unifilar de conexión

La relación de transformación que utiliza el TP es 70:1, la relación del TC es de 400:5 o 80:1 así como también los ganchos conectados al equipo PP1 para medir la corriente manejan una escala de 12:1, esta escala es únicamente para la corriente, ya que el voltaje en el secundario de los TP's están dentro del rango manejado directamente por el PP1.

Como se mencionó anteriormente, el TP va conectado directamente al bus principal de Media Tensión (MT), y el TC se encuentra censando las corrientes de carga como dispositivo de medición del alimentador.

De acuerdo con la característica del circuito se tiene un voltaje de línea-línea de 13,800 volts. Convirtiendo el voltaje de línea-línea a voltaje de fase a neutro o línea a neutro, tenemos que:

$$V_{LL} = V_{FN} \cdot \sqrt{3} \quad (2.1)$$

donde:  $V_{LL}$  Voltaje de línea-línea,  $V_{FN}$  Voltaje de fase a neutro

despejando (2.1), se obtiene el siguiente valor:

$$V_{FN} = \frac{13800 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 7967.43 \text{ V} \quad (2.2)$$

Aplicando la relación de transformación correspondiente para el voltaje, se tiene que el valor promedio por fase medido en el instrumento PP1 debe ser aproximadamente de:

$$\frac{7967.43 \text{ V}}{70} = 113.82 \text{ V} \quad (2.3)$$

La conexión del PP1 fue hecha para una configuración estrella aterrizada, siguiendo las indicaciones de conexión de acuerdo al manual del instrumento. Se conectó de esta manera por ser la configuración del transformador el cual tiene una conexión delta en el primario y estrella aterrizada en el secundario. La Figura 2.3 muestra el diagrama de conexión que se hace al instrumento para una estrella aterrizada.

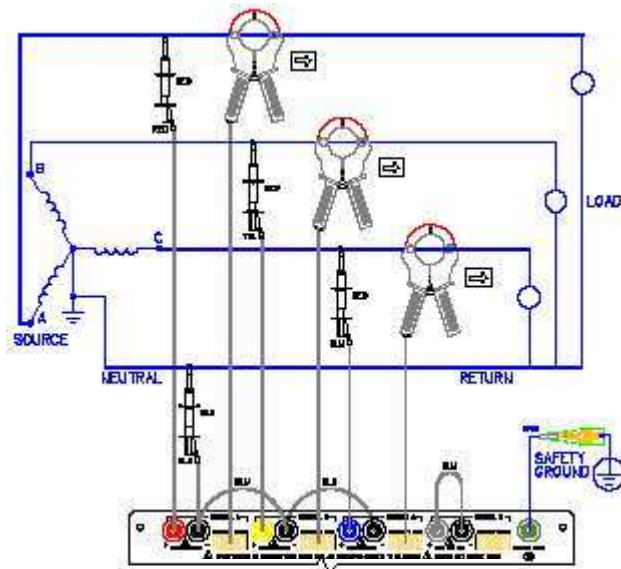


Figura 2.3 Diagrama de conexión del PP1 para estrella aterrizada

Los canales A, B y C del instrumento son conectados con las puntas de prueba de voltaje y corriente. El neutro es conectado al común del instrumento y se hace referencia para los otros dos canales de medición. El canal D se cortocircuita para prevenir datos erróneos.

### **2.3 Monitoreo del alimentador**

De acuerdo al resultado de (2.3) el umbral superior para que el instrumento comenzará a grabar variaciones de corta duración sería el mostrado en,

$$113.82 \text{ V} * 1.1 = 125.2 \text{ V} \quad (2.4)$$

para el umbral inferior es el mostrado en,

$$113.82 \text{ V} * 0.9 = 102.4 \text{ V} \quad (2.5)$$

Considerando el resultado de estas dos operaciones se optó por seleccionar la configuración para que el límite inferior rms fuera de 105 V y el límite superior fuera 127V y con una magnitud para los transitorios de voltaje de 100 V de acuerdo a como lo indica en manual de operador del PP1-PQPlus. En el Apéndice B se muestra la configuración del instrumento incluyendo los parámetros aquí reportados.

### **2.4 Archivos grabados durante el tiempo de monitoreo**

Los archivos que se grabaron durante el tiempo que se estuvo monitoreando el alimentador de distribución de 13,800 volts, son los que es muestran en la Tabla 2.3, en la que se muestra un total de 57 archivos dentro de los cuales el primer archivo grabado fue el día lunes 28 de junio del año 2004 y el último archivo grabado se obtuvo el día viernes 22 de octubre del mismo año.

Tabla 2.3 Historial de archivos grabados

<b>PCS</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora inicio</b>	<b>Hora fin</b>
2	Martes 29 de Junio de 2004	20:48:20	22:19:57
3	Miércoles 30 de Junio de 2004	9:45:59	10:53:10
4	Jueves 1 de Julio de 2004	9:50:51	10:50:04
5	Jueves 1 de Julio de 2004	11:05:12	12:02:01
7	Sábado 3 de Julio de 2004	22:21:24	0:48:04
2	Martes 29 de Junio de 2004	20:48:20	22:19:57
3	Miércoles 30 de Junio de 2004	9:45:59	10:53:10
4	Jueves 1 de Julio de 2004	9:50:51	10:50:04
5	Jueves 1 de Julio de 2004	11:05:12	12:02:01
7	Sábado 3 de Julio de 2004	22:21:24	0:48:04
8	Domingo 4 de Julio de 2004	17:48:07	20:12:22
9	Lunes 5 de Julio de 2004	23:56:08	2:22:59
10	Viernes 9 de Julio de 2004	16:08:30	17:35:46
11	Sábado 10 de Julio de 2004	15:30:29	16:37:48
12	Sábado 10 de Julio de 2004	20:59:49	22:32:04
13	Domingo 11 de Julio de 2004	17:25:19	18:57:31
14	Martes 13 de Julio de 2004	17:42:08	19:14:27
15	Miércoles 14 de Julio de 2004	18:35:33	20:07:52
16	Viernes 16 de Julio de 2004	21:12:42	22:44:54
17	Sábado 17 de Julio de 2004	12:53:21	14:23:16
18	Sábado 17 de Julio de 2004	18:04:28	19:36:45
19	Sábado 17 de Julio de 2004	19:47:39	21:43:14
20	Martes 20 de Julio de 2004	18:12:59	20:02:40
21	Miércoles 21 de Julio de 2004	7:04:18	8:36:38
22	Jueves 22 de Julio de 2004	22:02:18	23:34:30
23	Domingo 25 de Julio de 2004	21:33:35	23:30:09
24	Martes 27 de Julio de 2004	13:31:01	14:50:21
25	Martes 27 de Julio de 2004	20:55:32	22:23:17
26	Viernes 30 de Julio de 2004	1:50:43	03:07:52
27	Viernes 30 de Julio de 2004	4:37:30	4:47:33
28	Domingo 1 de Agosto de 2004	17:25:25	18:40:46
29	Jueves 5 de Agosto de 2004	15:30:38	17:02:56
30	Viernes 6 de Agosto de 2004	16:18:40	17:50:49
31	Viernes 6 de Agosto de 2004	21:50:00	23:37:16
32	Sábado 7 de Agosto de 2004	18:14:12	19:46:25
33	Domingo 8 de Agosto de 2004	21:04:28	22:31:21
34	Lunes 9 de Agosto de 2004	12:21:44	13:51:08
35	Martes 10 de Agosto de 2004	13:32:35	14:52:11
36	Martes 10 de Agosto de 2004	15:05:52	15:44:41
37	Martes 10 de Agosto de 2004	21:25:57	22:53:19
38	Jueves 12 de Agosto de 2004	18:28:08	20:00:23
39	Sábado 14 de Agosto de 2004	19:21:49	20:54:01
40	Domingo 15 de Agosto de 2004	20.45.30	0:22:17

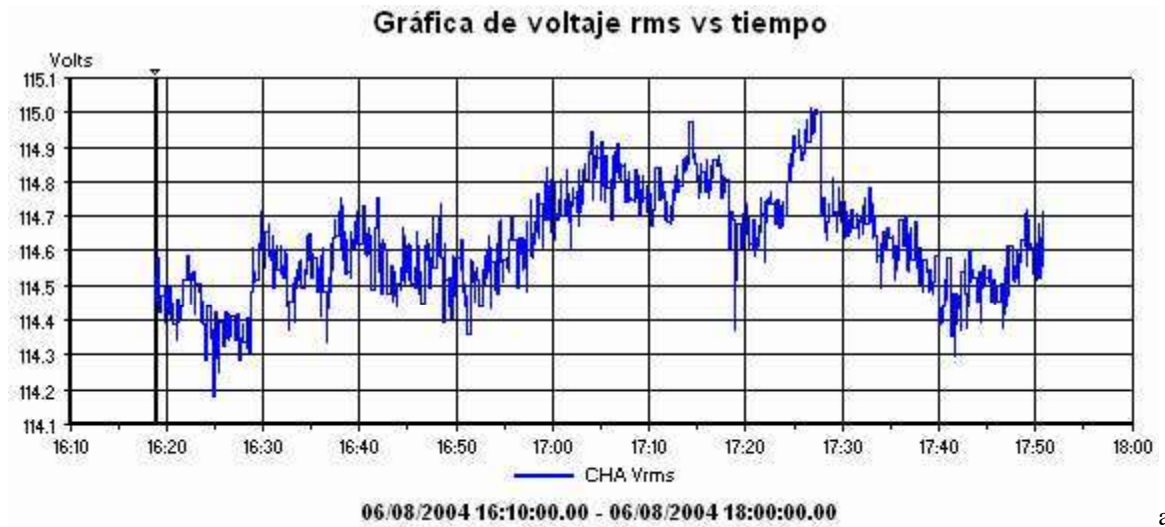
Continúa...

Continúa...

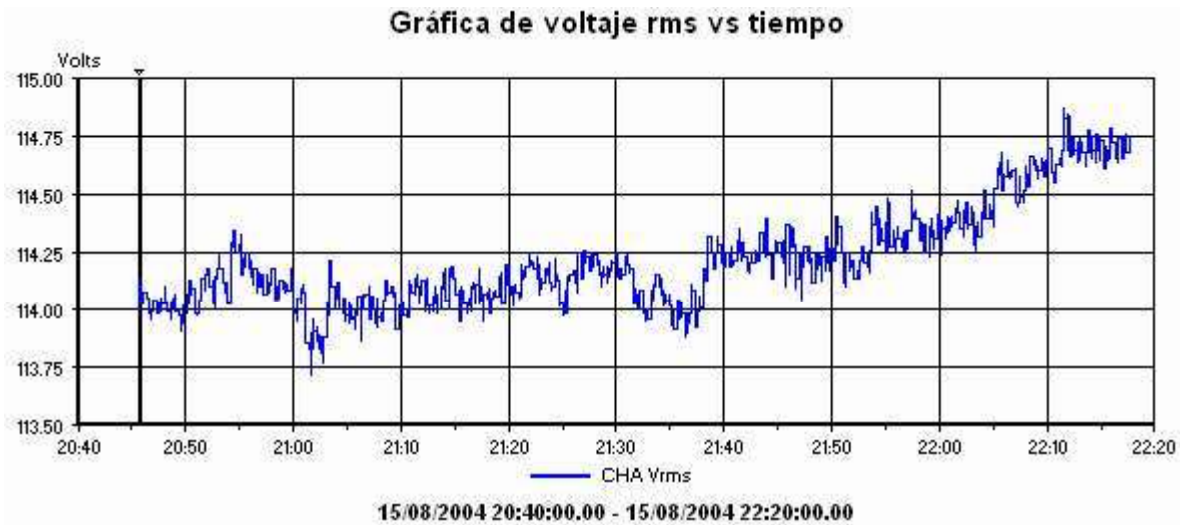
Tabla 2.3 Histograma de archivos grabados

PCS	Fecha	Hora inicio	Hora fin
41	Martes 17 de Agosto de 2004	19:16:50	20:49:05
42	Miércoles 18 de Agosto de 2004	13:43:33	15:15:44
43	Domingo 22 de Agosto de 2004	19:07:42	20:39:56
44	Jueves 26 de Agosto de 2004	19:13:36	20:45:46
45	Sábado 28 de Agosto de 2004	15:22:50	17:11:30
46	Lunes 30 de Agosto de 2004	18:06:08	19:36:21
47	Miércoles 1 de Septiembre de 2004	17:43:35	19:36:15
48	Lunes 6 de Septiembre de 2004	18:10:16	19:42:16
49	Miércoles 8 de Septiembre de 2004	15:05:25	16:37:37
50	Sábado 11 de Septiembre de 2004	4:17:55	5:49:59
51	Domingo 19 de Septiembre de 2004	18:51:46	20:23:58
52	Domingo 10 de Octubre de 2004	15:26:19	16:56:59
53	Sábado 16 de Octubre de 2004	17:53:17	19:25:30
54	Martes 19 de Octubre de 2004	10:58:36	12:19:15
55	Martes 19 de Octubre de 2004	14:00:06	15:27:44
56	Viernes 22 de Octubre de 2004	10:42:19	12:04:37
57	Viernes 22 de Octubre de 2004	13:12:10	14:44:22

Más sin embargo no todos los archivos de la Tabla 2.3 presentan algún tipo de evento en ellos, debido a que el instrumento se encontraba monitoreando las 24 horas del día durante un periodo de cuatro meses. Esto provoca tener un número demasiado grande de archivos, así que el instrumento borra automáticamente grupos de archivos acumulados que no registraron algún tipo de evento, omitiendo en algunos casos el borrado de algunos archivos. Debido a lo mencionado anteriormente se realizó el escaneo de cada uno de los archivos para comprobar la existencia o no de algún tipo de evento en ellos, mucho de los archivos presentan características similares a las que se muestran en la Figura 2.4, la cual presenta el nivel de voltaje rms la fase A, para los archivos PCS 30 y PCS 40. En estas dos gráficas de voltaje se puede apreciar como los niveles de voltaje están cambiando de valor constantemente, pero sin embargo en ninguna de las dos gráficas se rebasan los umbrales establecidos y por lo tanto el voltaje se mantiene en un nivel de operación normal. Los voltajes máximo y mínimo para la grafica a) son de 114.18 y 115.02 V respectivamente y para la gráfica b) de 113.37 y 114.87 V.



a)



b)

Figura 2.4 Gráficas de voltaje para la fase A; a) Archivo PCS 30, b) Archivo PCS 40.

## 2.5 Conclusiones

La configuración en que se conectó el instrumento de monitoreo, gracias a la característica del alimentador fue una de las mejores alternativas que se pudo tomar, ya que este alimentador cuenta con la posibilidad de proporcionar mediciones solamente de él y no de un conjunto de circuitos, como es más común de encontrar al momento de realizar mediciones en una subestación eléctrica.

## Capítulo 3

# Análisis de Resultados y Clasificación de Eventos

En éste capítulo se hace la descripción y clasificación de los eventos presentados durante el tiempo que se estuvo monitoreando el alimentador de 13,800 volts, también se presentan los resultados obtenidos del análisis.

### 3.1 Archivos con eventos

El monitoreo se llevó a cabo durante el periodo de verano 2004. Dentro de los archivos que se capturaron durante este lapso, solamente los mostrados en la Tabla 3.1 son los que presentaron algún tipo de evento, los cuales se analizarán posteriormente. Cada archivo esta conformado por un cierto número de eventos.

Tabla 3.1 Historial de archivos con eventos

PCS	Fecha	Hora inicio	Hora fin
8	Domingo 4 de Julio del año 2004	17:48:07	20:12:22
10	Viernes 9 de Julio del año 2004	16:08:30	17:35:46
11	Sábado 10 de Julio del año 2004	15:30:29	16:37:48
17	Sábado 17 de Julio del año 2004	12:53:21	14:23:16
19	Sábado 17 de Julio del año 2004	19:47:39	21:43:14
24	Martes 27 de Julio del año 2004	13:31:01	14:50:21
25	Martes 27 de Julio del año 2004	20:55:32	22:23:17
28	Domingo 1 de Agosto del año 2004	17:25:25	18:40:46
33	Domingo 8 de Agosto del año 2004	21:04:28	22:31:21
34	Lunes 9 de Agosto del año 2004	12:21:44	13:51:03
35	Martes 10 de Agosto del año 2004	13:32:35	14:52:11
37	Martes 10 de Agosto del año 2004	21:25:57	22:53:19
52	Domingo 10 de Octubre del año 2004	15:26:19	16:56:59

### 3.2 Contenido espectral de los impulsos transitorios

Los impulsos transitorios se pueden categorizar de acuerdo a la recomendación de IEEE, por su contenido típico espectral basado en la duración de elevación, los cuales pueden ser nanosegundos, microsegundos y milisegundos. Existen varias opciones de medir la duración de elevación para los transitorios, una de ellas considera medir el tiempo desde el instante en que el voltaje se incrementa hasta que alcanza su pico máximo, como lo ilustra la Figura 3.1. Debido a que el equipo de monitoreo cuenta con una frecuencia de muestreo de 128 muestras por ciclo, no se cuenta con la capacidad de encontrar el tiempo exacto de elevación, por el hecho de que a esta frecuencia de muestreo existe un margen de error considerable. Siendo no factible la clasificación de los transitorios por su contenido espectral.

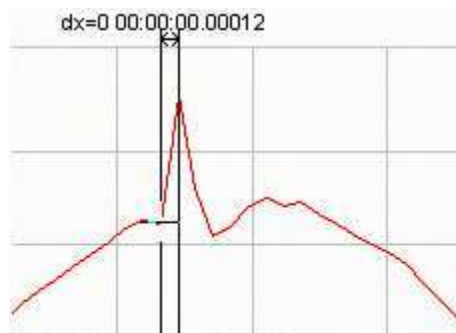
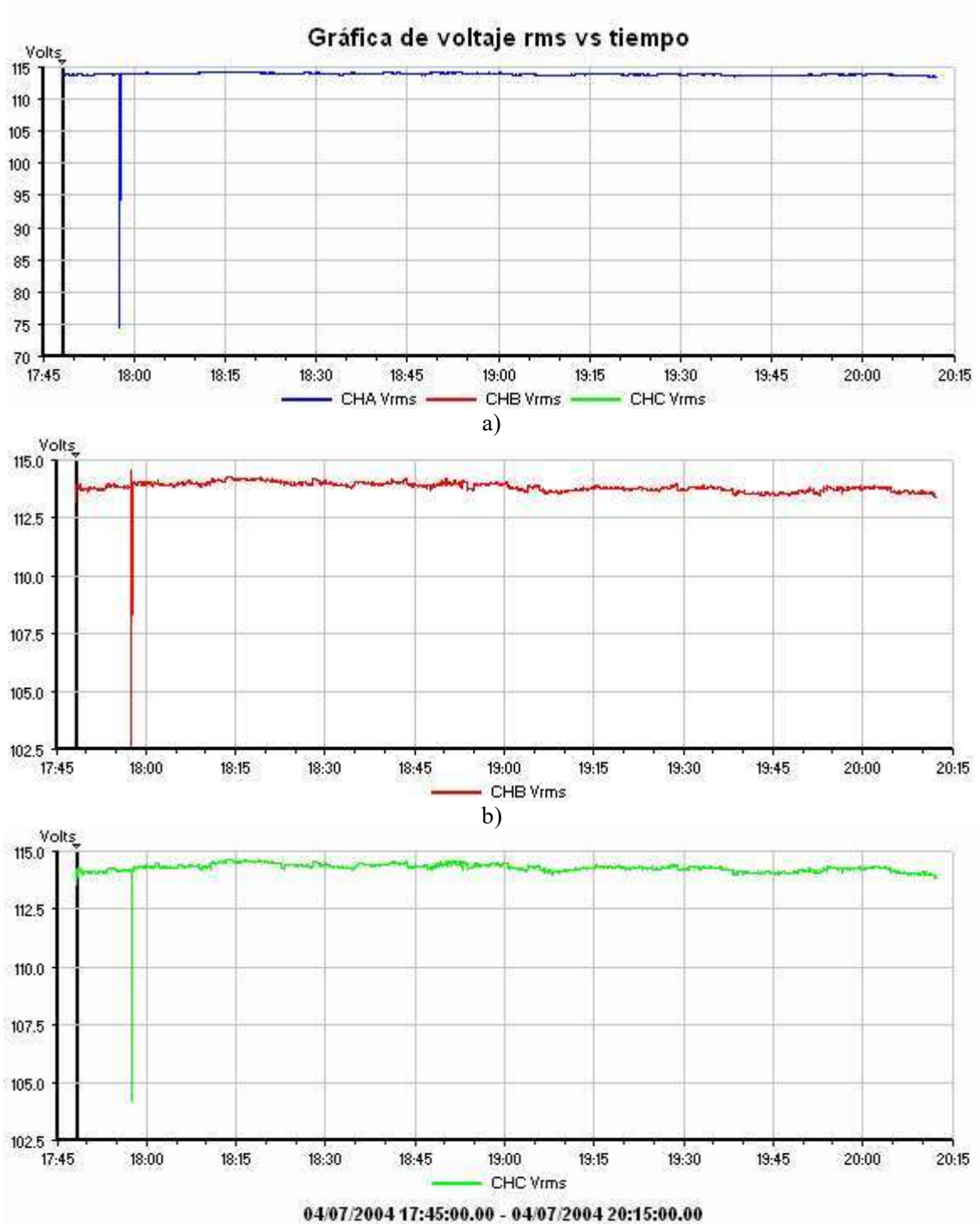


Figura 3.1 Tiempo de elevación

### 3.3 Análisis del Archivo PCS 8

El archivo PCS 8 corresponde a los eventos presentados el día domingo 04 de Julio del 2004 de las 17:48:07 (hora:minuto:segundo.décimas de segundo) a las 20:12:22, en la Figura 3.2 se muestran las gráficas para los voltajes rms de la fase A, fase B y fase C, en la cual se observa cómo el voltaje en la fase A decayó hasta 74.52 V, el cual fue el menor de las tres fases; el voltaje máximo de 114.34 V y una mediana de 113.9 V; para la fase B el voltaje mínimo fue de 102.39 V, valor máximo de 114.54 V y una mediana en voltaje de 113.83 V; para la fase C se tiene un voltaje mínimo de 104.19 V, máximo de 114.67 y una mediana de 114.3 V. Revisando estos datos se observa que todas las fases cruzaron el límite inferior de 105 V presentándose algunos eventos, también se observa que el resto del tiempo que se estuvo monitoreando, el circuito se mantuvo muy estable, con valores alrededor de 114 V.





	Min	Max	Median
CHA Vrms	74.52	114.34	113.90
CHB Vrms	102.39	114.54	113.83
CHC Vrms	104.19	114.67	114.30
CHABC Vrms	74.52	114.34	113.90

Figura 3.2 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 8; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.3.1 Sags

El detalle de los eventos presentados se pueden observar en la forma de onda de la Figura 3.3 donde se puede advertir que se trata de un sag de voltaje principalmente en la fase A la cual corresponde al canal A, en la información de la figura se indica que el umbral cruzado de 100 V con un límite Max/Min de 129.5 V lo cual representa la presencia de un pequeño transitorio, cuyo mayor impacto fue para la fase C (canal C), así mismo se observa que el voltaje de la fase B y C disminuyó pero en menor magnitud que el de la fase A. Debido a la existencia del cruce por el límite inferior de 105 V se produjo un sag de voltaje. La Figura 3.3a muestra la forma de onda del voltaje y 3.3b la forma de onda para la corriente, en cuya gráfica se aprecia notoriamente que ya existía una distorsión en la onda. Y al momento de que el voltaje disminuyó la corriente por consecuencia se distorsionó en mayor medida.

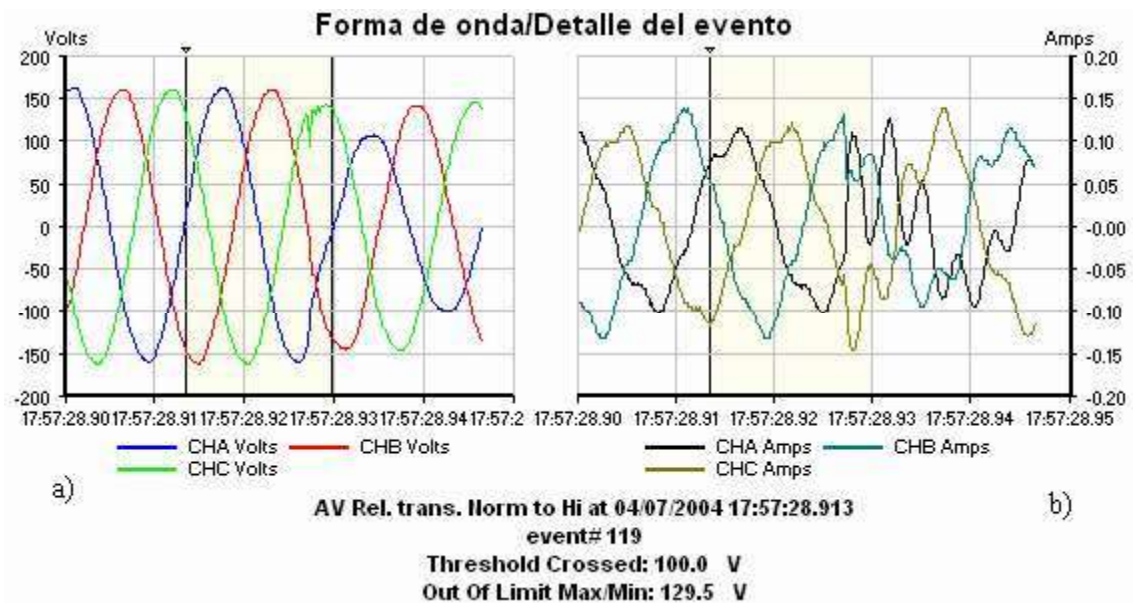


Figura 3.3 Forma de onda del sag presente en el archivo PCS 8; a) gráfica de voltaje, b) gráfica de corriente

La Figura 3.4 muestra el detalle del sag ocurrido en el archivo PCS 8 donde se muestra que tuvo una duración de 0.35 seg con lo cual se categoriza como un sag instantáneo, con un voltaje mínimo registrado de 73.39 V en la fase A

### Forma de onda/Detalle del evento

AV RMS Lo to Norm at 04/07/2004 17:57:28.980

event# 121

Threshold Crossed: 105.0 V

Category: INSTANTANEOUS SAG

Out Of Limit Max/Min: 73.39 V

Duration Out Of Limits: 0.350 Sec.

Unit	A	B	C	D	ABC
V	112.9	113.0	113.8	0.2	112.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

Figura 3.4 Detalle del sag ocurrido en el archivo PCS 8

Los resultados finales del archivo PCS 8 son los presentados en la Tabla 3.2, en la cual se registran el sag ocurrido y el pequeño transitorio que se presento al inicio del sag.

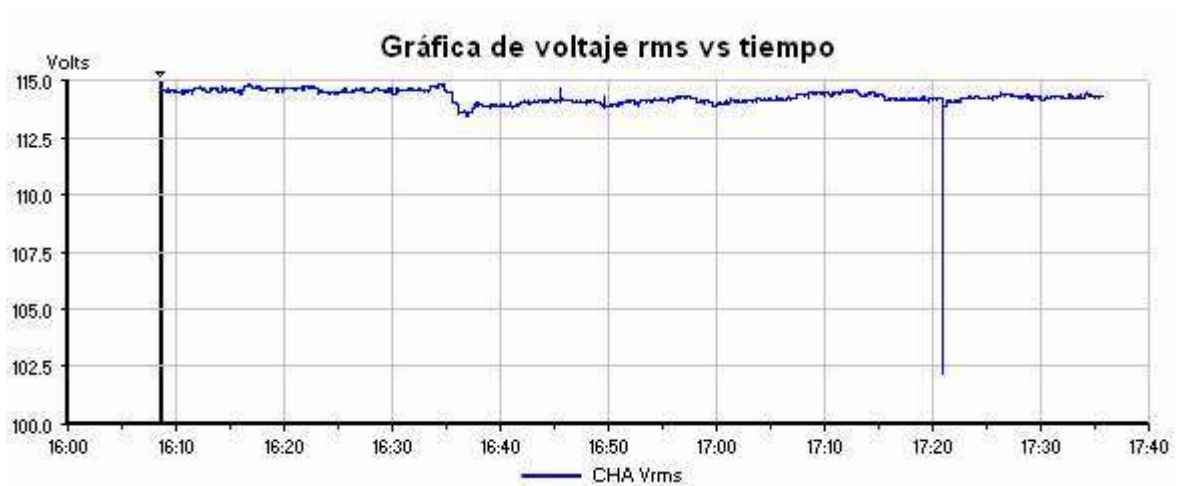
Tabla 3.2 Resultados obtenidos del archivo PCS 8

<b>Sags de voltaje ocurridos el 04/07/2004 de 17:48:07 a 20:12:22</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	73.4 V	0.350 seg	4/07/04	17:57:28.98
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 04/07/2004 de 17:48:07 a 20:12:22</b>				
	<b>Dato</b>		<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
	129.5 Vpk		4/07/04	17:57:28.91

### 3.4 Análisis del Archivo PCS 10

El archivo PCS 10 fue monitoreado el día viernes 09 de Julio del 2004 de las 16:08:30 a las 17:35:46, la gráfica de voltaje rms vs tiempo se muestra en la Figura 3.5. Analizando las gráficas se puede detallar que ninguna fase sobrepasa el limite superior de voltaje de 127 V, caso contrario con el límite inferior de 105 V que es cruzado por los las tres fases, a la 17:21:02 horas. El resto del voltaje graficado en las figuras, se muestra que sigue un comportamiento normal, solamente con algunos pequeños picos, pero ninguno que sobrepase los límites para variaciones de corta duración.

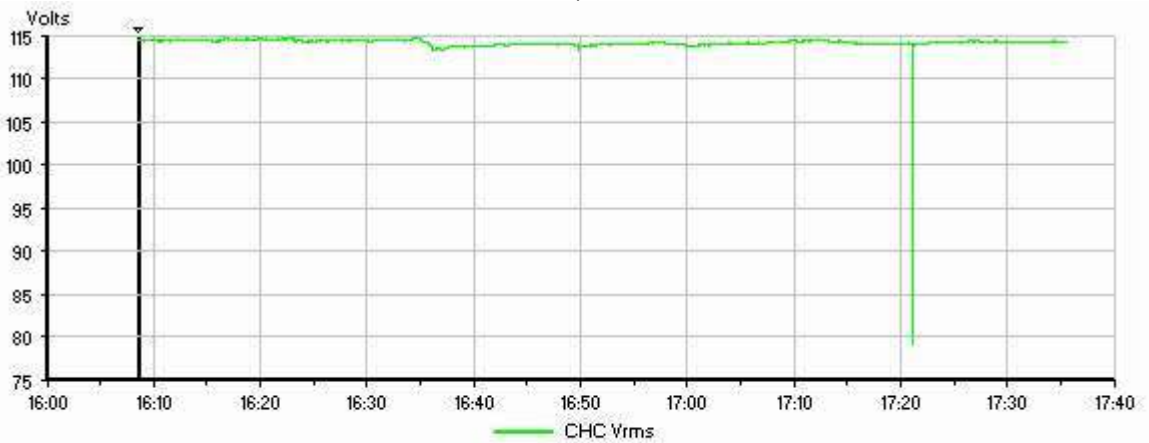
Los valores de voltaje mínimo, máximo y media de estas gráficas son mostrados en la tabla inferior de la Figura 3.5 donde se advierte que el voltaje menor fue para la fase C con un valor de 79.14 V.



a)



b)



**09/07/2004 16:00:00.00 - 09/07/2004 17:40:00.00**

c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	102.15	114.83	114.27
CHB Vrms	104.66	114.44	113.98
CHC Vrms	79.14	114.75	114.29
CHABC Vrms	102.15	114.83	114.27

Figura 3.5 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 10; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.4.1 Transitorios

Analizando los detalles de las pasadas gráficas se obtienen los eventos transitorios siguientes: El primer evento transitorio de éste archivo es el que se muestra en la Figura 3.6, el cual cruza el umbral de configuración de 100 Vpk llegando hasta un valor de 153.6 Volts. Se advierte que este transitorio es de la categoría de impulso transitorio por la forma que presenta, y dadas las circunstancias de la temporada se puede deducir que éste evento corresponde al efecto de una sobretensión por descarga atmosférica inducida. La influencia de éste transitorio está presente en las tres fases, aunque se presentó un mayor impacto sobre la fase A



Figura 3.6 Forma de onda del primer transitorio en el archivo PCS 10

Posteriormente se presentó otro evento que se ilustra en la Figura 3.7 en la cual se ve que existe un impulso transitorio, que alcanza un valor fuera del límite hasta el valor de 183.7 Vpk de acuerdo con los detalles del evento. En este transitorio la fase que sufre mayor impacto es la fase C, además de tenerse una perturbación adicional un ciclo después en la base A y C, lo que da un claro indicativo de tratarse de una descarga múltiple y por la proximidad con el horario del evento anterior, se estima que en la región prevaleció lluvia con descargas.

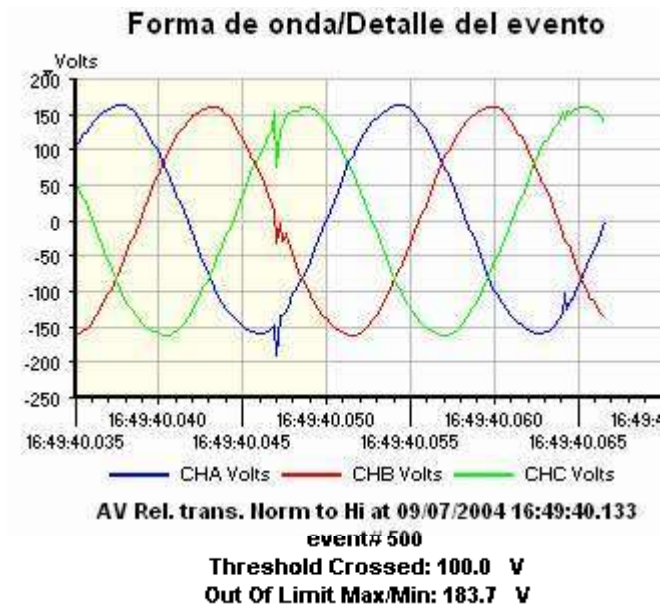


Figura 3.7 Forma de onda y detalle del segundo transitorio del archivo PCS 10

### 3.4.2 Sags

El sag de voltaje que se presentó, tuvo una duración de 0.366 seg categorizandolo como un sag instantáneo y siendo la fase C con el voltaje más bajo cuyo valor es de 79.14 V. La forma de onda no fue grabada por el instrumento, solamente el detalle del evento y que se muestra la Figura 3.8, la cual indica que registro un valor mínimo de voltaje de 100.9 V pero este valor es para la fase A.

### Forma de onda/Detalle del evento

**AV RMS Lo to Norm at 09/07/2004 17:21:02.409  
event# 880  
Threshold Crossed: 105.0 V  
Category: INSTANTANEOUS SAG  
Out Of Limit Max/Min: 100.9 V  
Duration Out Of Limits: 0.366 Sec.**

Figura 3.8 Detalle del sag presentado en el archivo PCS 10

El resultado de los eventos ocurridos se durante la grabación de este archivo se muestra en la Tabla 3.3, la cual resume que se presentaron dos eventos transitorios y solo una variación de corta duración.

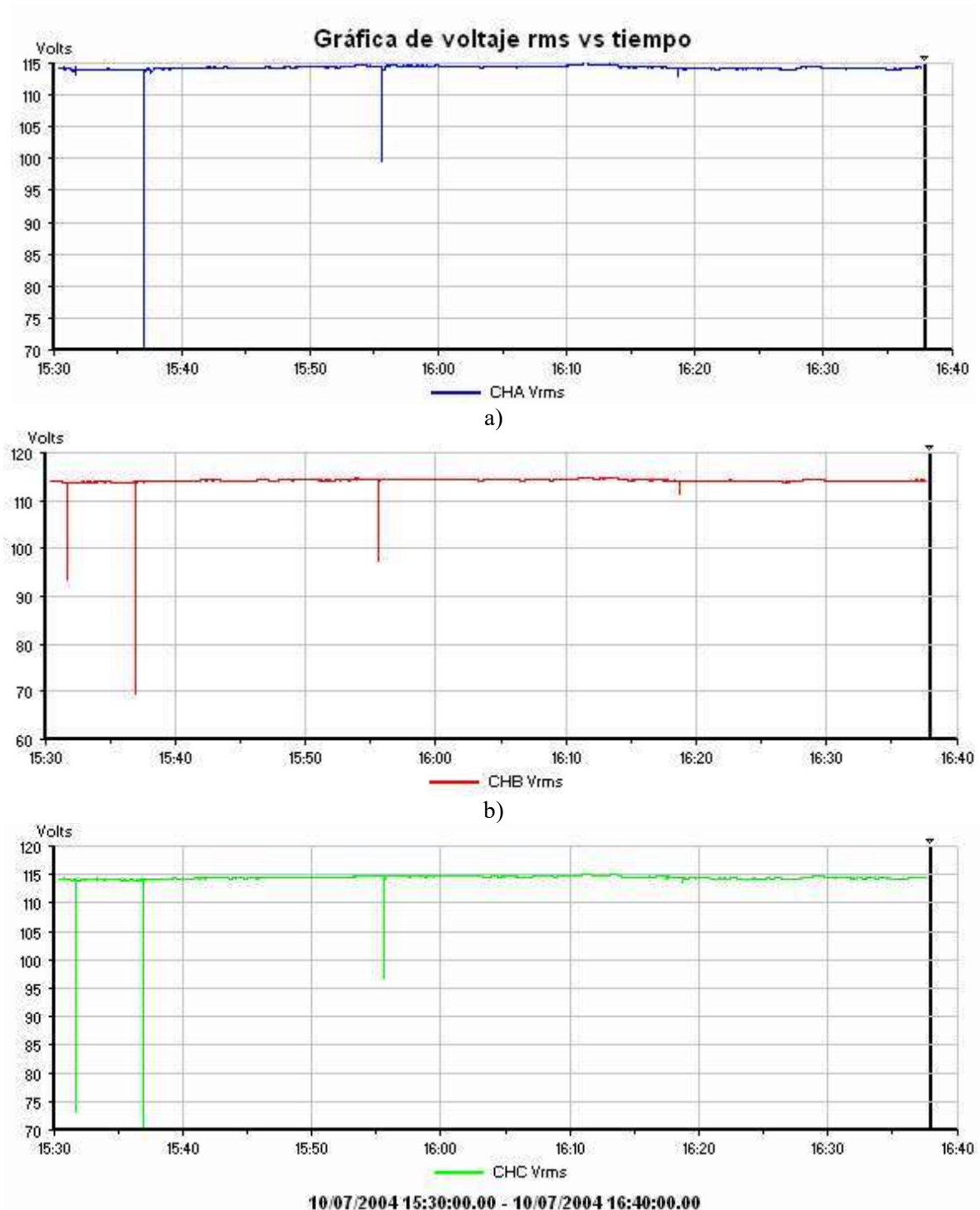
Tabla 3.3 Resultados obtenidos del archivo PCS 10

<b>Sags de voltaje ocurridos el 09/07/2004 de 16:08:30 a 17:35:46</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	100.9 V	0.366 seg	9/07/04	17:21:02.40
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 09/07/2004 de 16:08:30 a 17:35:46</b>				
	<b>Dato</b>		<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
	183.7 Vpk		9/07/04	16:49:40.03
	153.6 Vpk		9/07/04	16:45:37.80

### 3.5 Análisis del Archivo PCS 11

El archivo PCS 11 fue monitoreado el día sábado 10 de julio del 2004 de las 15:30:24 a 16:37:44 horas, los voltajes rms capturados este día se muestran en la Figura 3.9, en la cual se observa que en la fase B y C existen tres cruces por el límite inferior del umbral provocando seguramente algún tipo de sag de voltaje, mas sin embargo en la fase A solamente se aprecia que ocurrieron dos cruces a traves del umbral.

Los valores de voltaje máximos, mínimos y la media para cada fase durante el tiempo de grabación de éste archivo, son mostrados en la tabla inferior de la Figura 3.9, donde se señala que el voltaje mínimo lo registró la fase B con un valor de 69.27 Volts.



	Min	Max	Median
CHA Vrms	70.20	114.91	114.31
CHB Vrms	69.27	114.88	114.22
CHC Vrms	70.57	115.07	114.47
CHABC Vrms	70.20	114.91	114.31

Figura 3.9 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 11; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C



### 3.5.1 Transitorios

El primer transitorio que se presento en el archivo PCS 11, ocurrió a las 15:30:47.4413 horas, éste transitorio tuvo un impacto pequeño pero en mayor medida sobre las fases C y A, alcanzando un valor de 114.4 Vpk, el impacto sobre la fase B fue el menos agravado. La Figura 3.10 muestra la forma de onda y el detalle del evento transitorio mencionado.

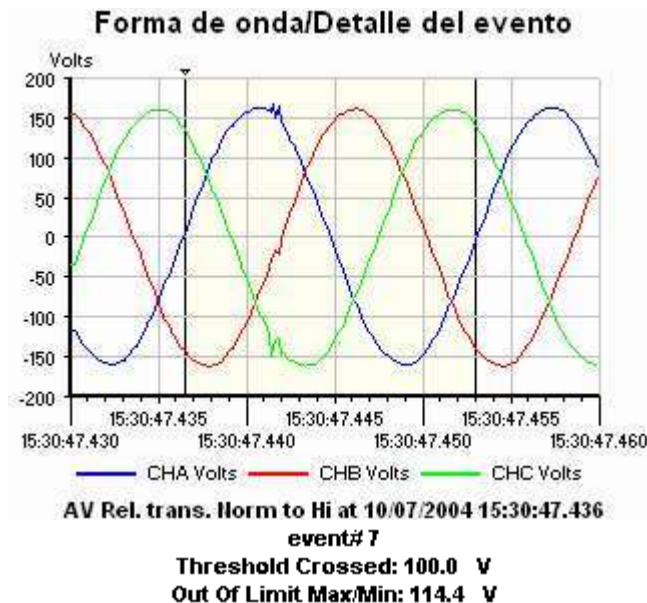


Figura 3.10 Forma de onda y detalle del evento transitorio en el archivo PCS 11

La siguiente cadena de eventos que se presento en éste archivo corresponde de la hora 15:31:39.7295 a las 15:31:44.0036, durante este lapso de tiempo se presentan varios impulsos transitorios en las tres fases. Analizado y graficando la forma de onda de estos impulsos transitorios se aprecia que precisamente existió la presencia de un sag de voltaje en la fase B y C, excluyendo a la fase A, así como se había indicado en el análisis del archivo PCS 11. El detalle de éste sag se realiza mas adelante en la subsección 3.5.2 sags.

La forma de onda de los transitorios aparece en tres ventanas diferentes en el programa utilizado, aunque estas sean consecutivas, así que utilizando una herramienta del software Dranview, se extraen los valores numéricos de las gráficas y posteriormente se grafican en Matlab para obtener una gráfica consecutiva en la cual se aprecia de mejor manera los

transitorios. La Figura 3.11 muestra la forma de onda para las tres fases en la cual se presentan cinco eventos transitorios, siendo el primero de ellos el más brusco y con un impacto mayor en la fase A, los siguientes impulsos fueron de menor escala. Por lo consecutivo de los eventos se puede deducir que fueron debidos a descargas atmosféricas múltiples

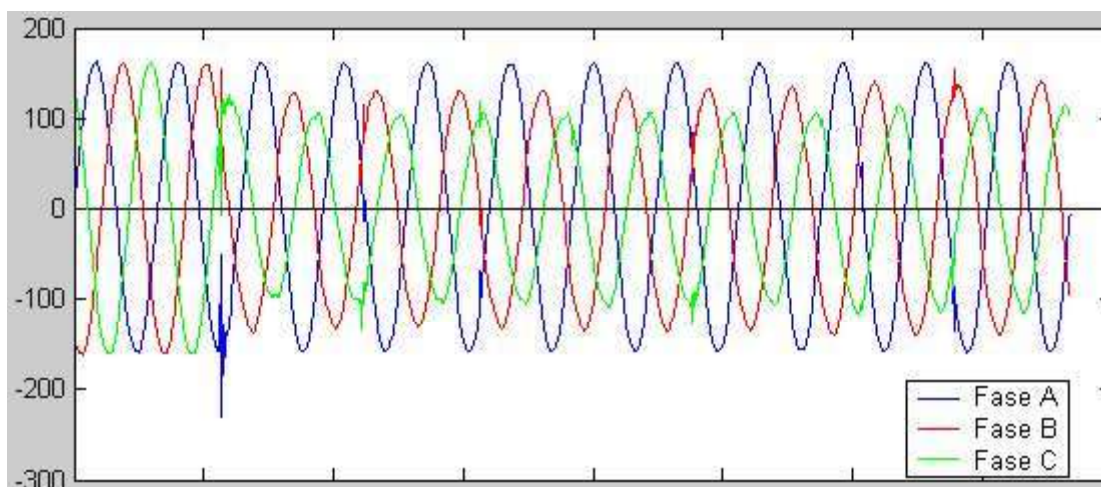


Figura 3.11 Gráfica de voltaje hecha en MatLab para los eventos del 21 al 30 del archivo PCS 11

Los datos de los impulsos transitorios presentados en la gráfica de la Figura 3.11 se resumen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Datos de transitorios para la cadena de eventos

<b>Dato</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
373.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7394
120.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7678
114.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7816
114.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.8241
117.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.8766

En la Figura 3.12 se muestra el siguiente transitorio que se presentó en el archivo PCS11, a las 15:33:19.0423 horas, alcanzando un valor de 150.5 Vpk y el cual estuvo influencia en las tres fases.

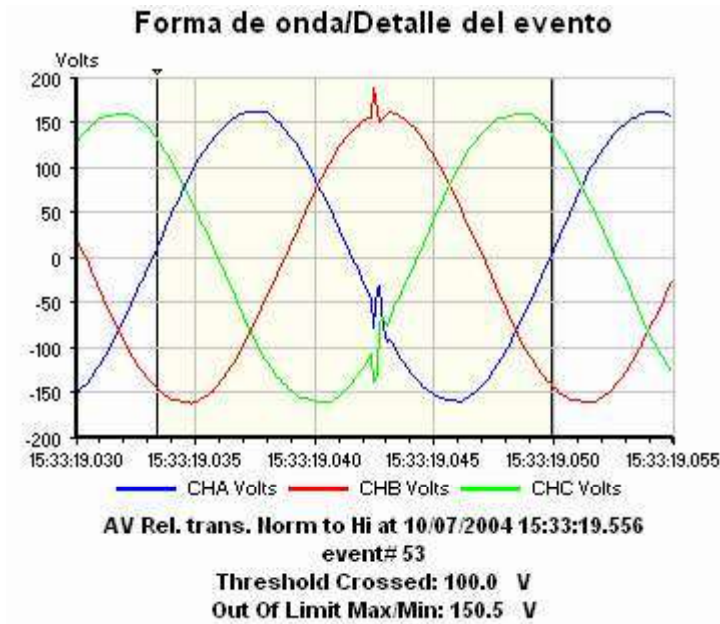


Figura 3.12 Forma de onda y detalle del evento# 53 del archivo PCS 11

El ultimo evento de impulso transitorio en el archivo PCS 11 ocurrió a las 15:37:36.3714 horas, alcanzando un voltaje pico de 201.7 V este transitorio tuvo mayor impacto en la fase A, la cual también incitó a la fase B. La forma de onda se muestra en la Figura 3.13.



Figura 3.13 Forma de onda y detalle del evento# 116 del archivo PCS 11

### 3.5.2 Sags

La Figura 3.14a y 3.14b muestra la duración y el voltaje rms mínimo alcanzado por la fase B y C respectivamente, en las cuales se aprecia que los dos voltajes cruzaron por el umbral inferior de 105 V (indicado con una línea punteada), provocando el primer sag presentado en este archivo.

Debido a que la configuración del instrumento (mostrada en el Apéndice B) la cual estaba configurada para que grabara al presentarse algún evento en la fase A y como no se presentó un abatimiento de voltaje en la fase A, no se gravó el detalle del evento. Mas sin embargo las tres fases se seguían monitoreando, de esta manera ampliando la gráfica de las Figuras 3.9b y 3.9c se obtuvieron los siguientes detalles: el sag presentado en la fase B Figura 3.14a, tuvo una duración de 0.26 seg, que de acuerdo a la categoría que hace IEEE se considera como un sag instantáneo con un voltaje mínimo de 93.43 V.

El sag presentado en la fase C Figura 3.14b, tubo una duración de 4.2 seg, lo cual lo pone en la categoría de sag temporal, con un voltaje mínimo de 73.07 V

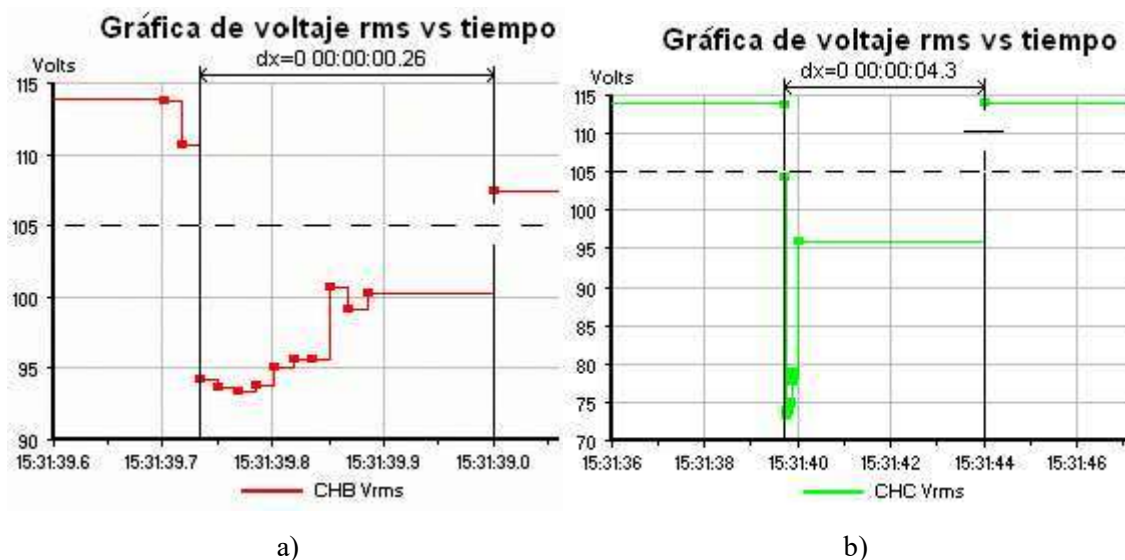


Figura 3.14 Gráficas de los sags de voltaje presentados en la: a) fase B y b) fase C

El segundo sag presentado en éste archivo tuvo fin a las 15:36.57.56 horas, con una duración de 0.284 segundos con lo que tiene una categoría de sag instantáneo y un valor fuera del limite de 69.27 V. de los sags presentes en el archivo PCS 11 fue el que alcanzó

un voltaje menor. La Figura 3.15 muestra la forma de onda de éste sag, la gráfica de la izquierda muestra el inicio y el de la derecha el fin del fenómeno.

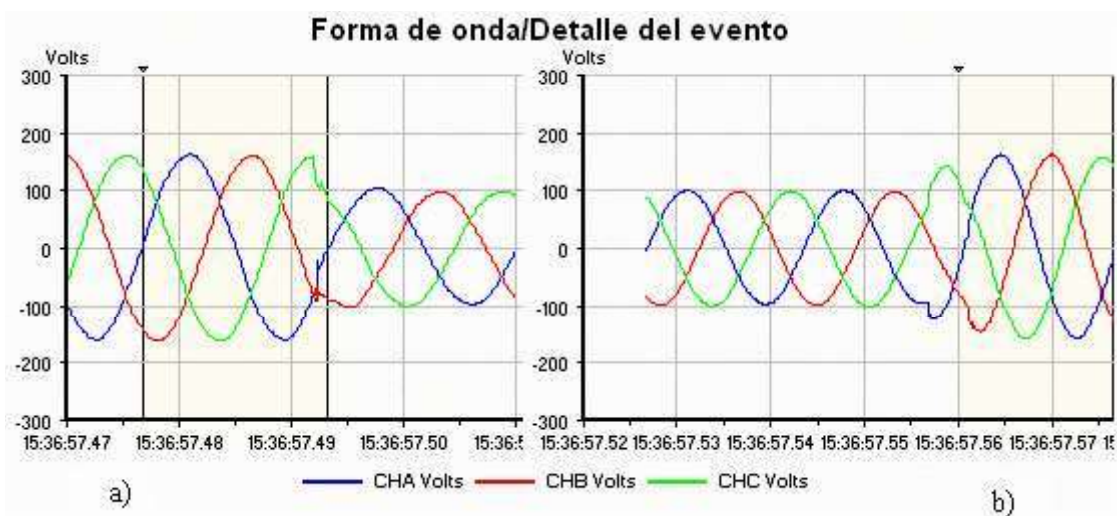


Figura 3.15; a) Inicio y b) fin del sag presentado en los eventos del 102-106 para el archivo PCS 11

La Figura 3.16 muestra la forma de onda de la corriente presentada durante éste sag de voltaje, donde se puede apreciar como la corriente al principio del sag tuvo muchas fluctuaciones y en la Figura 3.16b, la que corresponde al final del sag se presentó un pico de corriente para la fase B muy elevado comparándolo con la demás onda, el cual se presentó al momento de que el voltaje recupero su valor nominal.

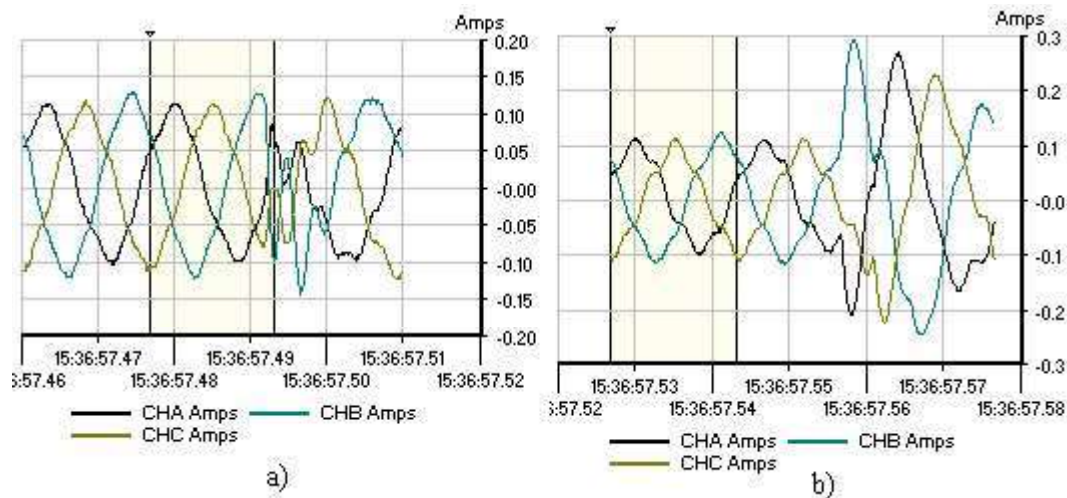


Figura 3.16 Forma de onda, para la corriente presentada en el sag; a) inicio, b) fin.

El último sag presentado en el archivo PCS 11 fue a las 15:55:38:213, con una duración de 0.034seg, lo que lo hace un sag instantáneo como lo muestra el detalle del evento de la Figura 3.17, éste evento tuvo un voltaje mínimo de 99.12 V.

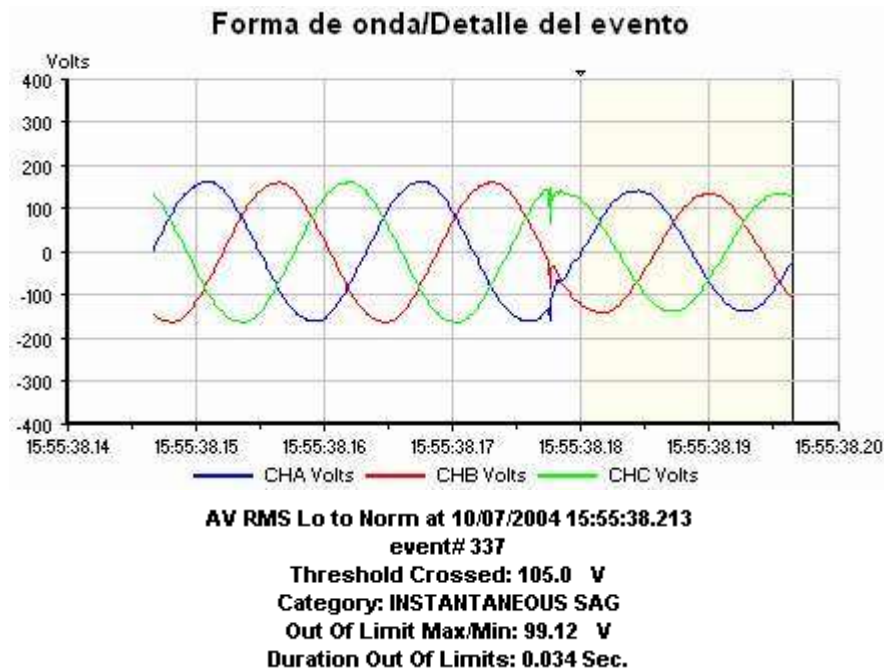


Figura 3.17 Forma de onda y detalle del evento# 337 del archivo PCS 11

El resultado de los eventos que se presentaron en el archivo PCS 11 se muestran a continuación en la Tabla 3.5, donde se reporta que hubo tres sags y en la Tabla 3.6 se reporta la existencia de siete transitorios, con su hora de acontecimiento y valor de voltaje.

Tabla 3.5 Resultados de sags del archivo PCS 11

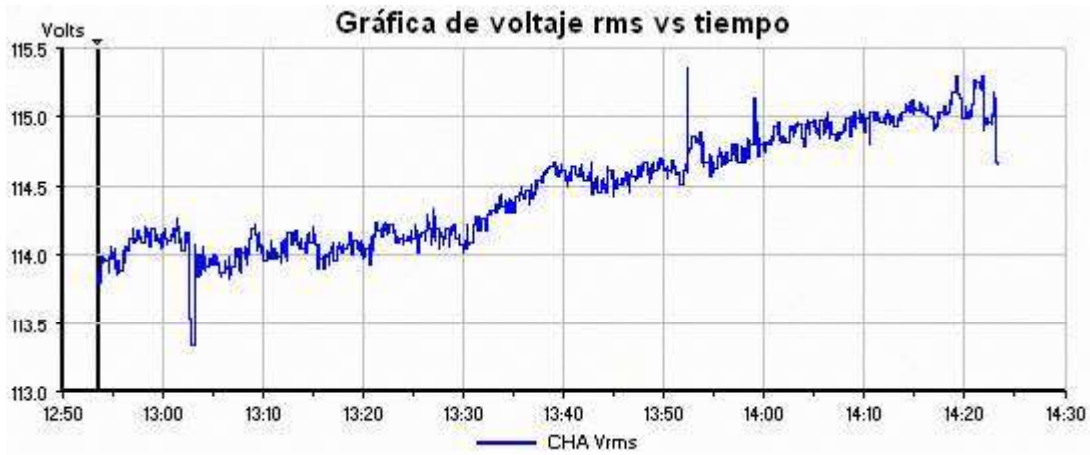
<b>Sags de voltaje ocurridos el 10/07/2004 de 15:30:24 a 16:37:44</b>				
Categoría	Dato	Duración	Fecha	Hora
Temporal	73.07	4.2 seg	10/07/04	15:31:39.72
Instantáneo	69.27 V	0.284 seg	10/07/04	15:36:57.56
Instantáneo	99.1 V	0.034 seg	10/07/04	15:55:38:213

Tabla 3.6 Resultados de transitorios del archivo PCS 11

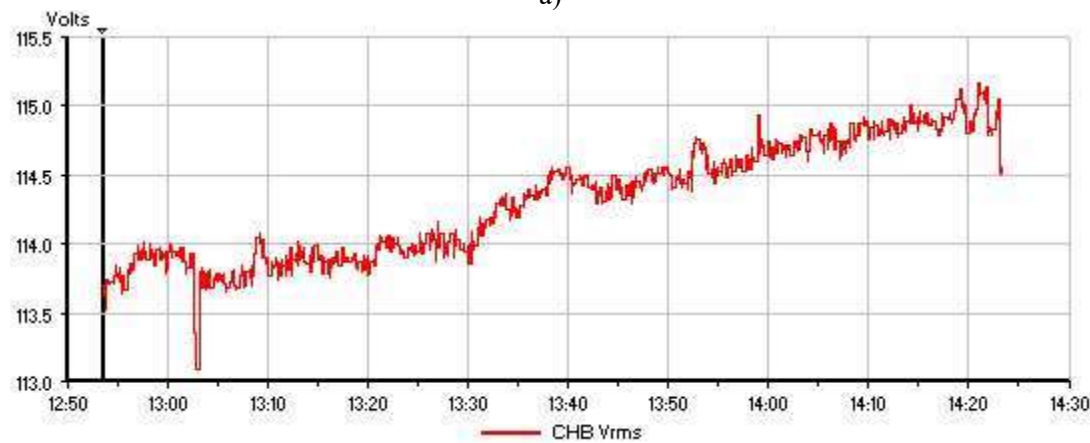
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 10/07/2004 de 15:30:24 a 16:37:44</b>		
<b>Dato</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
114.4 Vpk	10/07/04	15:30:47.4413
373.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7394
120.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7678
114.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.7816
114.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.8241
117.4 Vpk	10/07/04	15:31:39.8766
150.5 Vpk	10/07/04	15:33:19.0423
201.7 Vpk	10/07/04	15:37:36.3714

### 3.6 Análisis del Archivo PCS 17

El archivo PCS 17 corresponde a eventos presentados el día sábado 17 de Julio de 2004 de las 12:53:21 a las 14:23:16 horas. En éste archivo se advierte que en ninguna fase hubo un cruce por el umbral inferior de 105 V ni a través del superior de 127 V, deduciendo por lo tanto que no existió la presencia ningún sag ni swell. El voltaje rms mínimo para la fase A fue de 113.33 V, para la fase B de 113.44V y para la C de 113.44; los voltajes máximos registrados fueron de 115.36, 115.17 y 115.42 V para las fase A, B y C respectivamente, estos valores se muestran en la tabla inferior de la Figura 3.18, la gráfica 3.18a muestra los valores de la fase A, la 3.18b los de la fase B y la 3.18c los valores de la fase C. Las gráficas aparentemente tienen muchas fluctuaciones, comparándolas con las de los archivos analizados anteriormente, sin embargo no es éste el caso, sino que son graficadas dentro de márgenes más pequeños y por esa razón se aprecian los detalles más visiblemente.



a)



b)



c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	113.33	115.36	114.49
CHB Vrms	113.09	115.17	114.37
CHC Vrms	113.44	115.42	114.60
CHABC Vrms	113.33	115.36	114.49

Figura 3.18 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 17; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C



### 3.6.1 Transitorios

El único evento que se presentó en el archivo PCS 17 es el ilustrado en la Figura 3.19, en la cual se observa que corresponde a un impulso transitorio, el cual tuvo el pico mas alto en la fase A, alcanzando un valor de 102.4 Vpk, este transitorio también tubo un impacto en las otras dos fases.

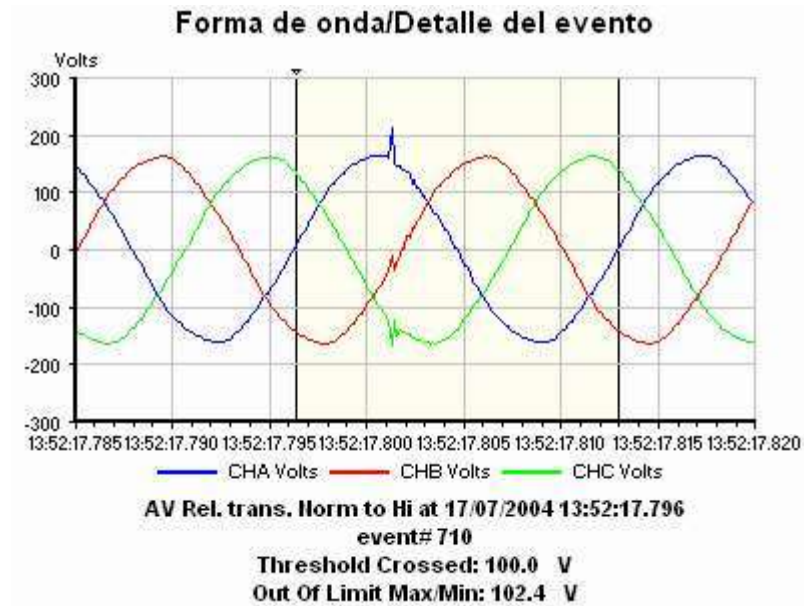


Figura 3.19 Forma de onda y detalle del evento en el archivo PCS 17

Las Tabla 3.7 muestra los resultados del archivo PCS 17.

Tabla 3.7 Resultados obtenidos del archivo PCS 17

<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 17/07/2004 de 12:53:21 a 14:23:16</b>		
Dato	Fecha	Hora
102.4 Vpk	17/07/04	13:52:17.4413

### 3.7 Análisis del Archivo PCS 19

El archivo PCS 19 corresponde a eventos presentados el Sábado 17 de Julio de 2004 de las 19:34:39 a 21:43:14 horas este fue es segundo Archivo grabado este día lo que demuestra que el equipo efectivamente estaba monitoreando las 24 horas y solamente guardaba cuando se presentaba algún evento. Las gráficas de voltaje rms vs tiempo son mostradas en la Figura 3.20a para la fase A, 3.20b para la fase B, y 3.20c la fase C, en éstas gráficas se percibe que durante el muestreo capturado se advierte que hubo un cruce

por el umbral inferior de 105 V lo cual seguramente provoco un sag, aproximadamente ocurrió a las 20:20:32.40 horas. Los voltajes máximos, mínimos y la media son mostrados en la tabla de la Figura 3.21.

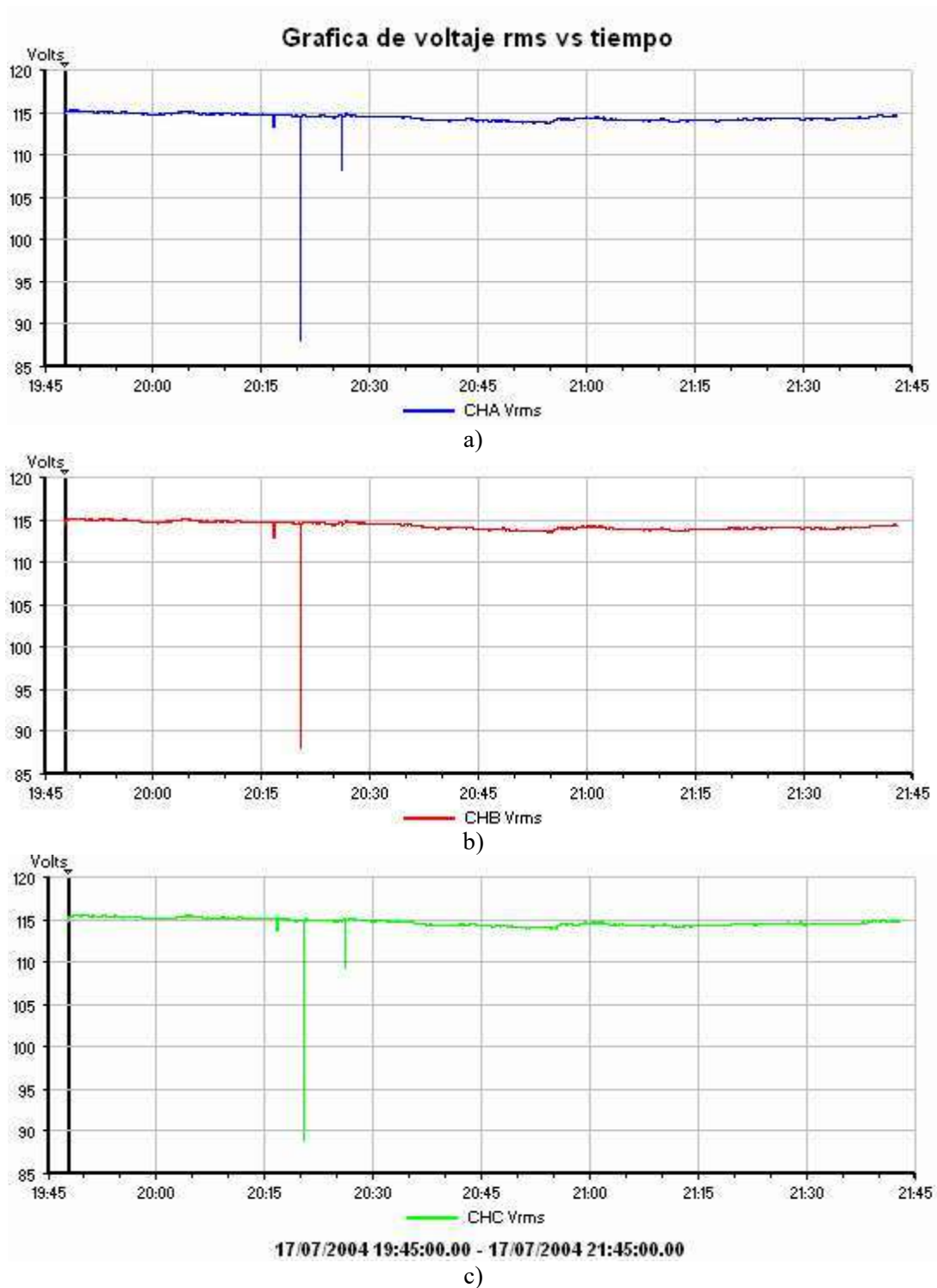


Figura 3.20 Gráfica de voltaje rms vs tiempo del archivo PCS 19; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

	Min	Max	Median
CHA Vrms	87.96	115.28	114.32
CHB Vrms	87.96	115.17	114.17
CHC Vrms	88.78	115.51	114.58
CHABC Vrms	87.96	115.28	114.32

Figura 3.21 Valores mínimo, máximo y media registrados para el archivo PCS 19.

### 3.7.1 Transitorios

El único evento transitorio que se presentó en el archivo PCS 19 es el que se muestra en la Figura 3.22, el cual cruza el umbral de configuración de 100 Vpk llegando hasta un valor máximo de 144.5 V. dadas las circunstancias, esto corresponde al efecto de una sobretensión por descarga atmosférica inducida. La influencia de éste transitorio esta presente en las tres fases, aunque principalmente en la fase A. En la forma de onda de éste transitorio se observa que se presentan oscilaciones durante casi medio ciclo.



Figura 3.22 Forma de onda y detalle del evento transitorio del archivo PCS 19

### 3.7.2 Sags

En el sag de voltaje que se presentó en este archivo, como lo indican las gráficas de voltaje de la Figura 3.20, no fue capturada la forma de onda, solamente se grabaron los detalles del evento. Por lo que se puede observar en estas gráficas, se aprecia que existió un cruce por el límite inferior de voltaje rms. La Figura 3.23 muestra los detalles del evento ocurrido, en donde la figura izquierda 3.23a, muestra cuando el voltaje cruzó el

umbral inferior registrando los niveles de voltaje indicados para cada fase, la figura de la derecha 3.23b, muestra el fin del sag de voltaje. De acuerdo a la duración del evento la cual fue de 0.484 seg., se la asigna la categoría de sag instantáneo el cual registrando un valor mínimo de 87.81V

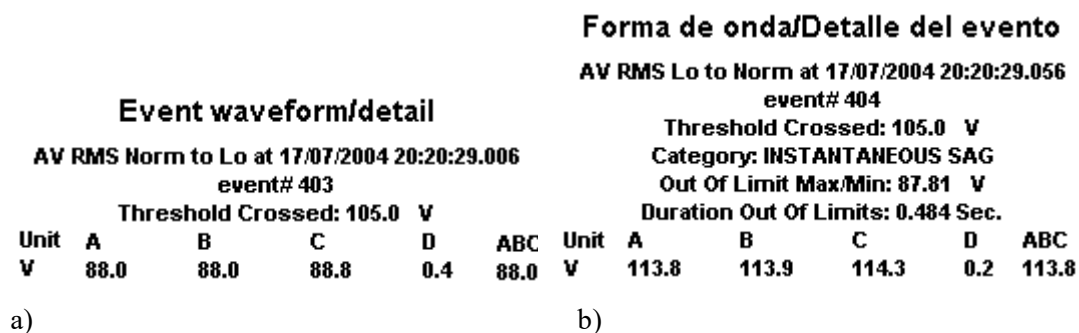


Figura 3.23 Detalle del sag presentado en el archivo PCS 19

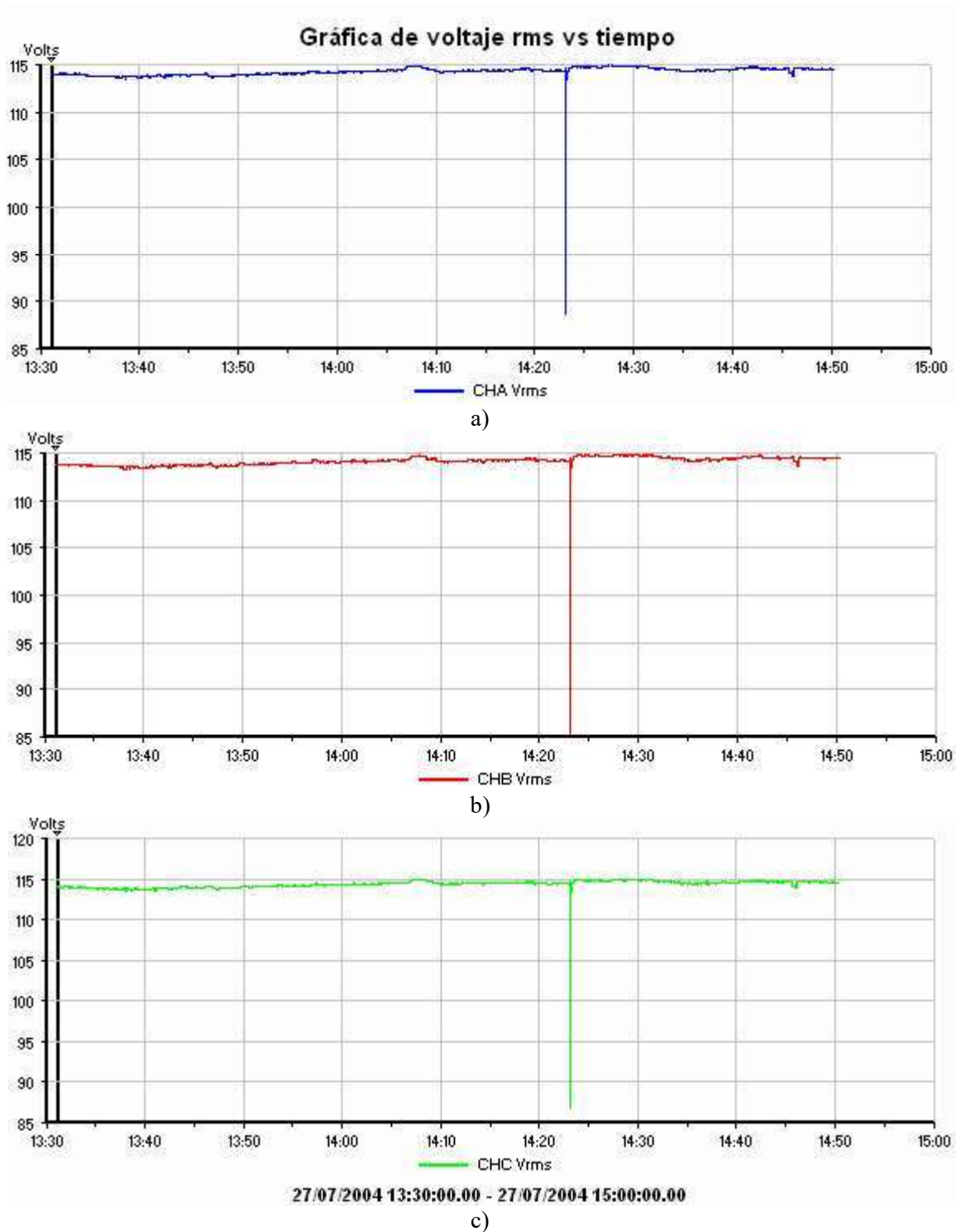
Los resultados del análisis de este archivo son los mostrados en la Tabla 3.8 donde se reportan los detalles del sag de voltaje y el transitorio que se presento.

Tabla 3.8 Resultados del archivo PCS 19

<b>Sags de voltaje ocurridos el 17/07/2004 de 19:34:39 a 21:43:14</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	87.8 V	0.484 seg	17/07/04	20:20:29.056
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 17/07/2004 de 19:34:39 a 21:43:14</b>				
	<b>Dato</b>		<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
	144.5 Vpk		17/07/04	20:16:37.2508

### 3.8 Análisis del Archivo PCS 24

El archivo PCS 24 corresponde a los eventos presentados el martes 27 de julio del 2004 de las 13:31:01 a las 14:50:21. Las graficas de voltaje rms vs tiempo son mostradas en la Figura 3.24 para cada fase, durante el tiempo que se grabo para este archivo, se presentaron cruces por el umbral inferior de 105 V, provocando algunos eventos. El resto del tiempo monitoreado se aprecia que el voltaje se mantuvo muy estable.



	Min	Max	Median
CHA Vrms	88.72	115.00	114.34
CHB Vrms	85.07	114.89	114.20
CHC Vrms	86.88	115.00	114.43
CHABC Vrms	88.72	115.00	114.34

Figura 3.24 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 24; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

Debido a los márgenes de escala que presentan las gráficas de la Figura 3.24, y a la cercanía con la que ocurrieron los eventos, no se puede apreciar que son dos veces las que el voltaje cruza el umbral, provocando sags de voltaje. Para aclarar éste punto se muestra la Figura 3.25 la cual es un acercamiento a la fase A de la Figura 3.24a, en el que se aprecia claramente el cruce del voltaje a través del límite inferior de 105 V.

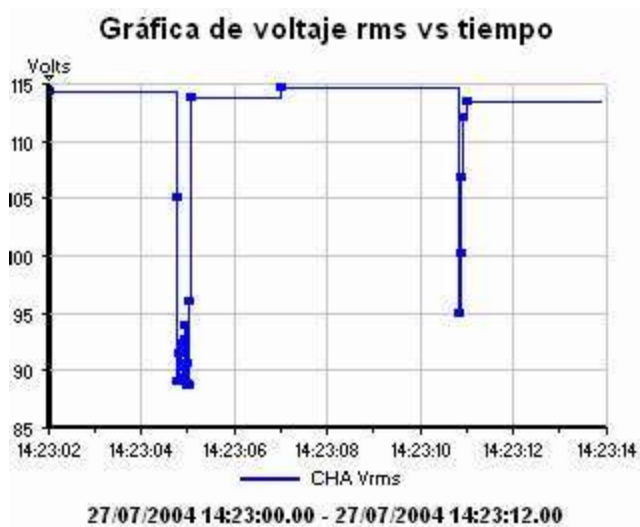


Figura 3.25 Acercamiento de la fase A del archivo PCS 24

### 3.8.1 Transitorios

El evento transitorio que se presentó en el archivo PCS 24, ocurrió a las 14:33:30.8224 alcanzando un valor de 114 Vpk, el cual no fue muy severo, pero principalmente tuvo un mayor impacto en la fase A. Éste transitorio se presentó después de que los dos sags de voltaje sucedieran. Dadas las circunstancias, esto corresponde al efecto de una sobretensión por descarga atmosférica inducida. La Figura 3.26 muestra la forma de onda y el detalle del impulso transitorio del archivo PCS 24.

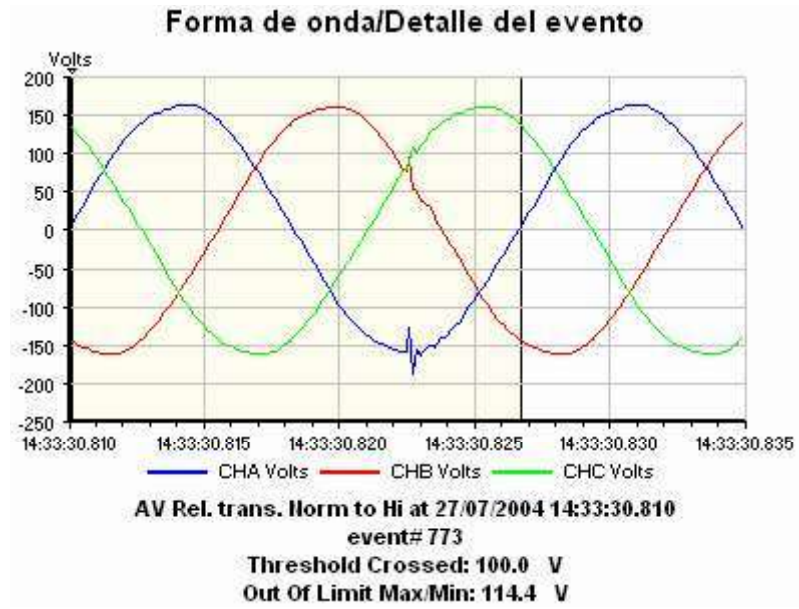


Figura 3.26 Forma de onda y detalle del transitorio presentado en el archivo PCS 24

### 3.8.2 Sags

El primer cruce del voltaje por el umbral inferior como se mostró en la Figura 3.25 fue el que tuvo una duración mayor, y con un voltaje con mayor depresión llegando hasta un valor mínimo en la fase B de 85.07 V y en la fase A con un valor mínimo de 88.11 V, la Figura 3.27 muestra los eventos 626, 627 y 642, de los cuales se aprecia como en la Figura 3.27a el voltaje está por debajo del umbral, así también en la Figura 3.27b. En la gráfica 3.27c se muestra la forma de onda y el detalle del evento al final del evento, donde nos indica que el sag tuvo una duración de 0.950 seg convirtiéndolo en un sag momentáneo ya que la duración para ésta categoría es de 0.5 ciclos a 3 seg.

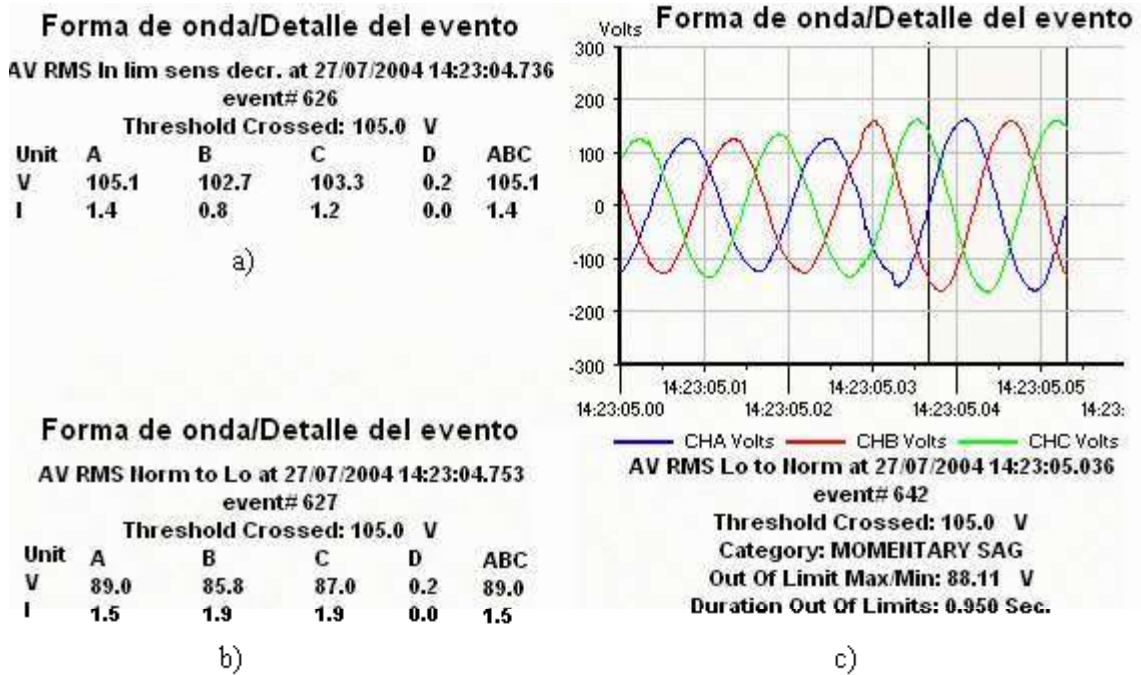


Figura 3.27 Forma de onda y detalles de los eventos presentados durante el sag momentáneo; a) evento 626, b) evento 627, c) evento 642

Debido a que este sag tuvo una duración mas prolongada, la forma de onda viene mostrada en varias ventanas del software Dran-View, por lo cual se extrajo la información numérica del muestreo de la onda para cada fase y se graficaron en MatLab, para que así se pudiera apreciar la forma de onda de una manera continua, Figura 3.28; debido a que no se registraron los datos del evento desde el momento en que se cruzó el umbral, no se puede apreciar la forma de onda completa del evento, pero si se aprecia el instante en que el voltaje recupera su estado normal..



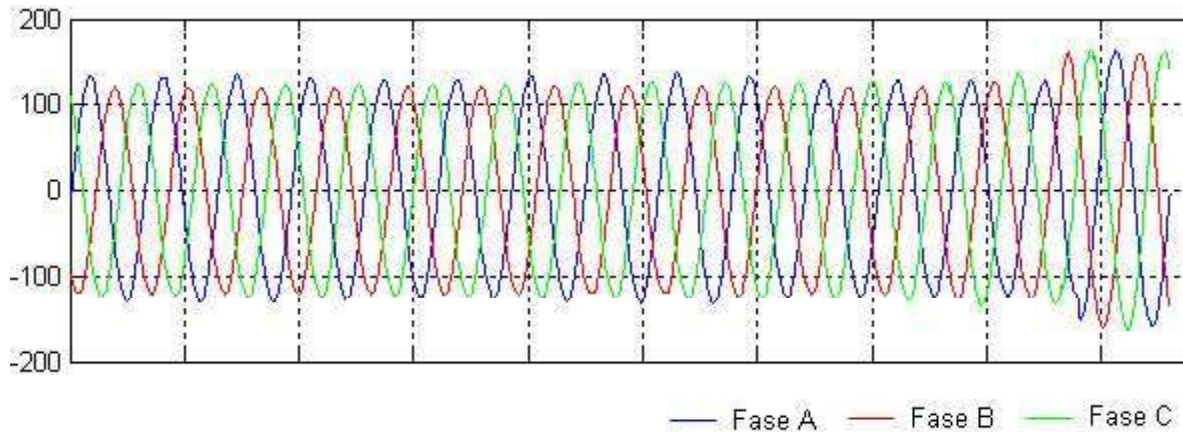


Figura 3.28 sag momentáneo del archivo PCS 24 graficado en MatLab

El segundo sag de voltaje que se presentó en éste archivo registro un valor de voltaje de 94.87 V con una duración de 0.034 seg, haciéndolo instantáneo, la Figura 3.29 muestra éste evento de voltaje, además se puede apreciar que lo onda sinusoidal de voltaje tuvo algún tipo de distorsión.

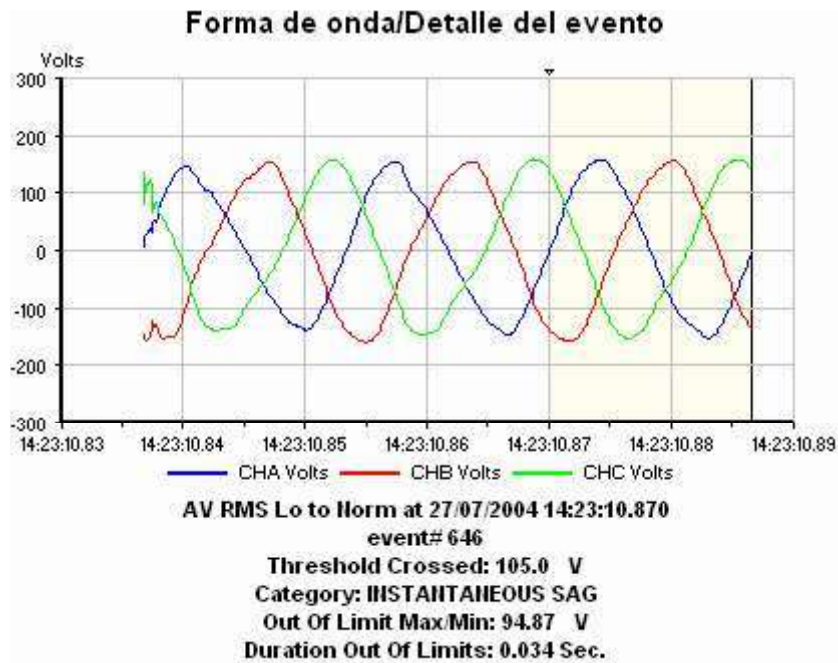


Figura 3.29 Forma de onda y detalle del segundo sag en el archivo PCS 24

El resultados de los eventos ocurridos durante la captura de éste archivo son los presentados el la Tabla 3.9, la cual resume la presencia de dos sags de voltaje, uno momentáneo con una duración de 0.950 seg y otro con categoría de instantáneo teniendo una duración de 0.034 seg., así como el impulso transitorio con un voltaje de 114.4 Vpk.

Tabla 3.9 Resultados del archivo PCS 24

<b>Sags de voltaje ocurridos el 27/07/2004 de 13:31:01 a 14:50:21</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Momentáneo	88.1 V	0.950 seg	27/07/04	14:23:05.036
Instantáneo	94.9 V	0.034 seg	27/07/04	14:23:10.87
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 27/07/2004 de 13:31:01 a 14:50:21</b>				
	<b>Dato</b>		<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
	114.4 Vpk		27/07/04	14:33:30.8224

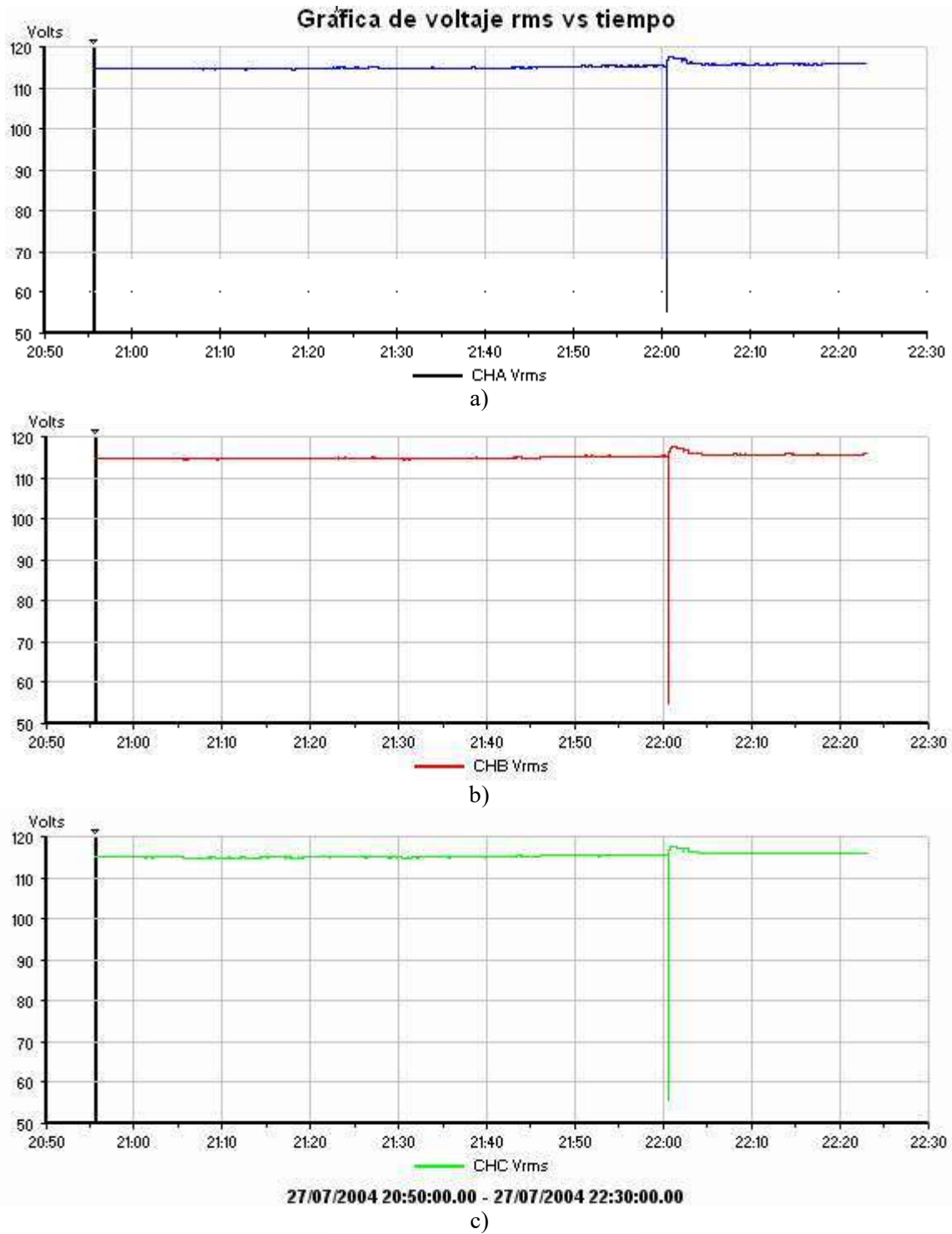
### 3.9 Análisis del Archivo PCS 25

El archivo PCS 25 corresponde a eventos presentados el día martes 27 de Julio del 2004 de las 20:55:32 a las 22:23:17, éste archivo es el segundo grabado durante éste mismo día. En la Figura 3.30 se muestran las gráficas de los voltajes rms para cada una de las tres fases monitoreadas.

En ellas se aprecia que solo existió un cruce de todas las fases por el umbral inferior y después de esta depresión de voltaje se presentó una pequeña elevación en el voltaje pero nada considerable.

El resto del tiempo que duro la grabación de éste archivo, se puede observa que el voltaje se mantuvo un nivel muy estable.

Los voltajes mínimos y máximos registrados para el archivo PCS 25 son los que se muestran en la tabla inferior de la Figura 3.30.



	Min	Max	Median
CHA Vrms	55.48	117.47	114.88
CHB Vrms	54.76	117.49	114.85
CHC Vrms	55.69	117.66	115.14
CHABC Vrms	55.48	117.47	114.88

Figura 4.

Figura 3.30 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 25; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.9.1 Sags

El sag que se presento en el archivo PCS 25, tuvo una duración de 0.516 seg., lo cual lo categoriza como un sag momentáneo, éste evento registró un voltaje mínimo de 54.19 V para la fase A. La Figura 3.31a despliega el detalle del evento al momento de que el voltaje A cruza el umbral, la 3.31d muestra el detalle del evento al momento de que el voltaje regresa al estado normal.

En la Figura 3.31c, se puede apreciar que el voltaje de la fase B tuvo un voltaje menor desde que se empezó a gravar la forma de onda, después de aproximadamente cuatro ciclos de que se empezó a gravar se observa una fluctuación en la forma de onda para la fase A y C principalmente, posteriormente las tres ondas recobran su voltaje nominal.

Las formas de onda son desplegadas en ventanas diferentes utilizando el software Dran-View, por ello se transportó la información a MatLab para graficar toda la señal grabada del evento en una sola gráfica.

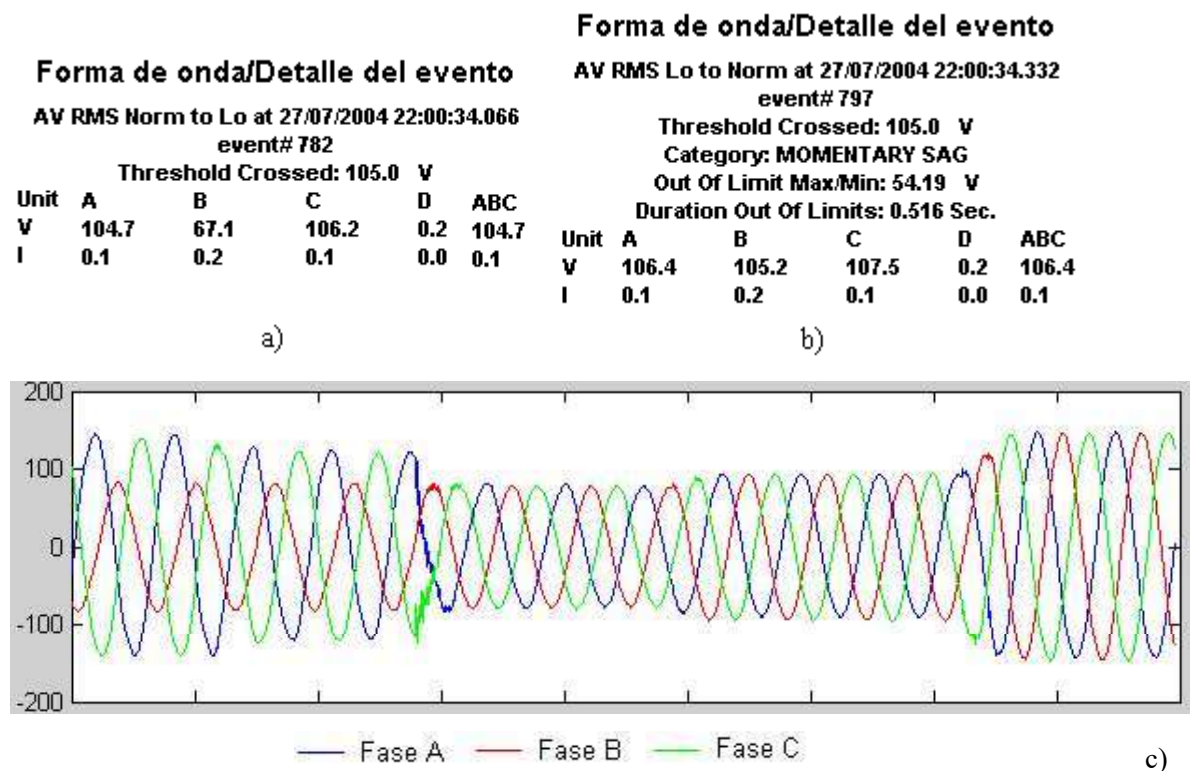


Figura 3.31 Forma de onda y detalle del sag presentado en el archivo PCS 25;

a) registro del evento 782, b) detalle del sag, c) forma de onda para el voltaje graficada en MatLab.

La siguiente gráfica, Figura 3.32 muestra la forma de onda de corriente al momento en que el sag de voltaje se presentó, aquí se observa que la corriente tuvo un valor mas elevado al momento de que el voltaje regresa a su valor nominal. También se aprecia que la forma de la corriente no es perfectamente sinusoidal lo que demuestra el problema de las cargas no lineales.

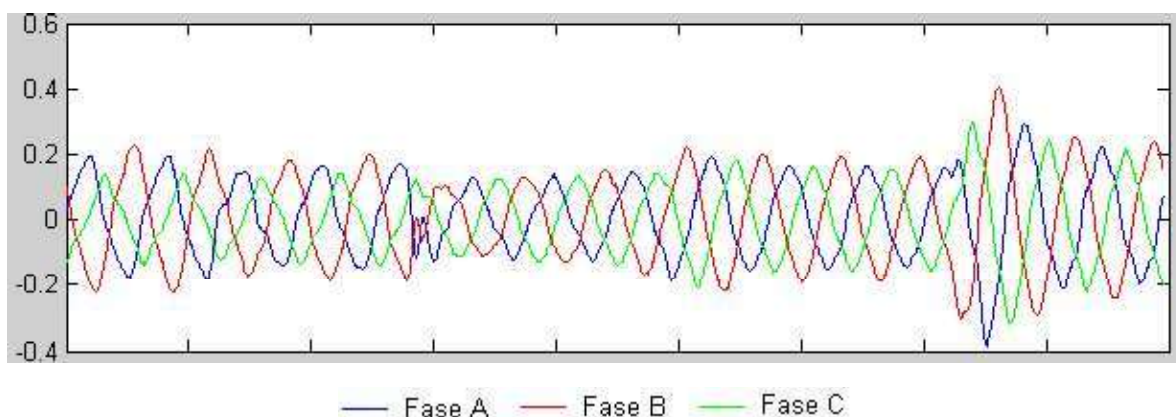


Figura 3.32 Forma de onda para la corriente presentada durante el sag de voltaje

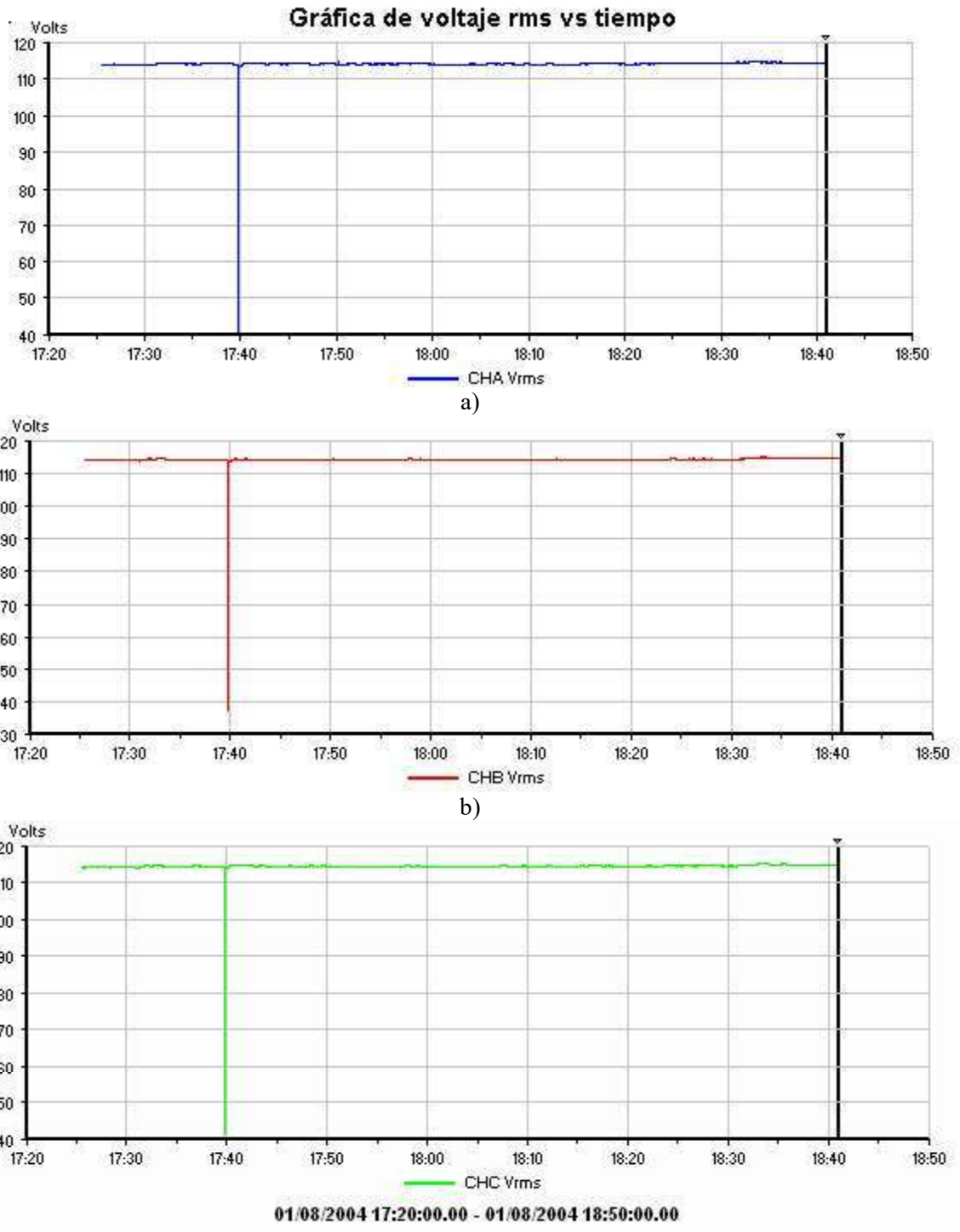
La Tabla 3.10 muestran los resultados obtenidos en el análisis del archivo PCS 25, en la cual solamente se reporta la presencia de un sag con categoría de momentáneo.

Tabla 3.10 Resultados del archivo PCS 25

Sags de voltaje ocurridos el 27/07/2004 de 20:55:32 a las 22:23:17				
Categoría	Dato	Duración	Fecha	Hora
Momentáneo	54.2 V	0.516 seg	27/07/04	22:00:34.33

### 3.10 Análisis del Archivo PCS 28

El archivo PCS 28 corresponde a eventos presentados el día domingo 1 de Agosto del 2004. La Figura 3.33 se muestra las gráficas para los voltajes rms de las tres fases monitoreadas, en las cuales se aprecia que existe una depresión de voltaje en las tres fases al mismo tiempo, la fase B fue la que llego a un voltaje menor de 37.37 V de acuerdo al voltaje mínimo registrado en la tabla inferior de la ésta figura. Se puede apreciar como la mayor parte del voltaje graficado se comporta con un muy pequeño margen de variación.



c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	40.83	115.06	114.24
CHB Vrms	37.37	115.24	114.34
CHC Vrms	41.58	115.45	114.58
CHABC Vrms	40.83	115.06	114.24

Figura 3.33 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 28; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.10.1 Transitorios

El primer transitorio presentado en este archivo ocurrió a las 17:28:27.6654 horas y presento un voltaje de 262 Vpk. La Figura 3.34a muestra la forma de onda para el voltaje, el la parte inferior de la figura se presenta el detalle del evento presentado, como se puede apreciar la forma de onda del voltaje fue distorsionada en las tres fases. La Figura 3.34b muestra el comportamiento de las corrientes donde se observa que la forma de onda de corriente no es perfectamente sinusoidal y se puede apreciar la presencia de un pico de corriente mas elevado para la fase C.

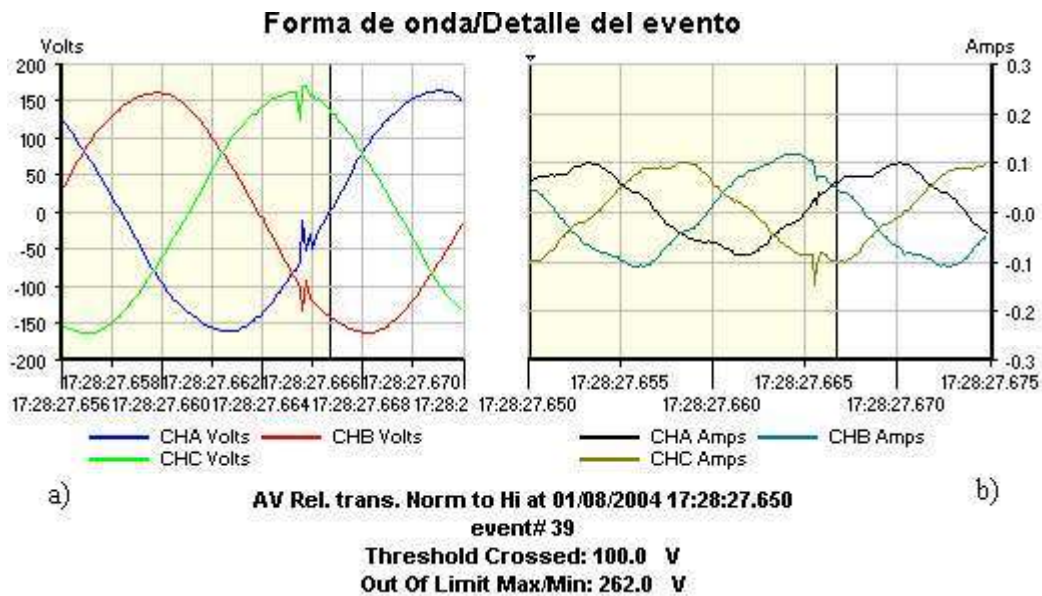


Figura 3.34 Forma de onda y detalle del primer transitorio; a) Voltaje, b) Corriente

El segundo transitorio que se presentó durante la grabación de éste archivo ocurrió a las 17:50:12.9882 horas. Este transitorio presentó un valor de 174.6 Vpk que tuvo un menor valor que el primer transitorio, esto se puede justificar por el hecho que posiblemente el transitorio pasado fue más prolongado que éste. La Figura 3.35a muestra la forma de onda para el voltaje de este transitorio donde se ve que la fase B sufrió una mayor perturbación, que en las otras dos fases. La Figura 3.35b muestra la forma de onda para la corriente, en la cual se aprecia que se presentó una distorsión en la forma de onda al instante en que el transitorio ocurrió, esto para las tres fases.

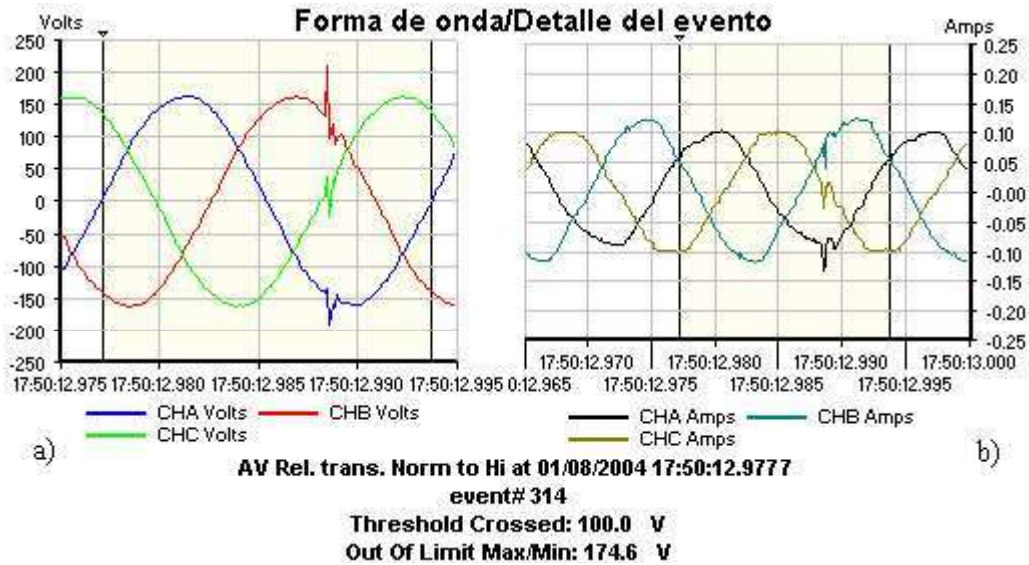


Figura 3.35 Forma de onda y detalle del segundo transitorio; a) Voltaje, b) Corriente

El tercer transitorio que se presentó fue el de menor valor de los tres presentados, con un valor de 171.6 Vpk. La Figura 3.36 muestra la forma de onda y el detalle del transitorio, donde la Figura 3.36a muestra el voltaje en el que se observa la elevación de voltaje en las tres fases pero principalmente en la fase B, la Figura 3.36b muestra la forma de corriente, en la cual se puede apreciar que la onda está muy distorsionada. Dadas las circunstancias de estos tres transitorios presentados, se puede deducir que esto corresponde al efecto de una sobretensión por descargas atmosféricas inducidas.

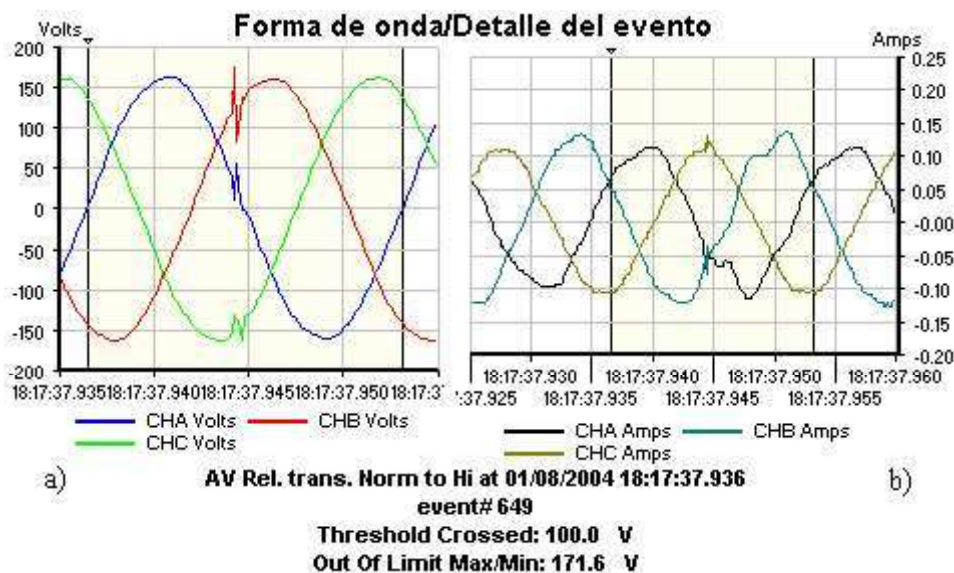


Figura 3.36 Forma de onda y detalle del tercer transitorio; a) Voltaje, b) Corriente.



### 3.10.2 Sags

El sag que se presento en el archivo PCS 28 es el que se aprecia en la Figura 3.37, en la cual la Figura del 3.37a muestra el inicio del evento, en el instante en que el voltaje disminuyo. En el momento en que el voltaje disminuyo, se presentaron oscilación en al forma de onda del voltaje las cuales casi duraron medio ciclo; la Figura 3.37b muestra el momento en que el voltaje regresa a su valor nominal. Este sag registro un voltaje de 40.83 V y tuvo una duración de 0.400seg, con lo cual se considera como un sag de categoría instantáneo.

La forma de onda de éste sag no fue grabada completamente, por los cual solamente se muestra el inicio y el fin del evento.

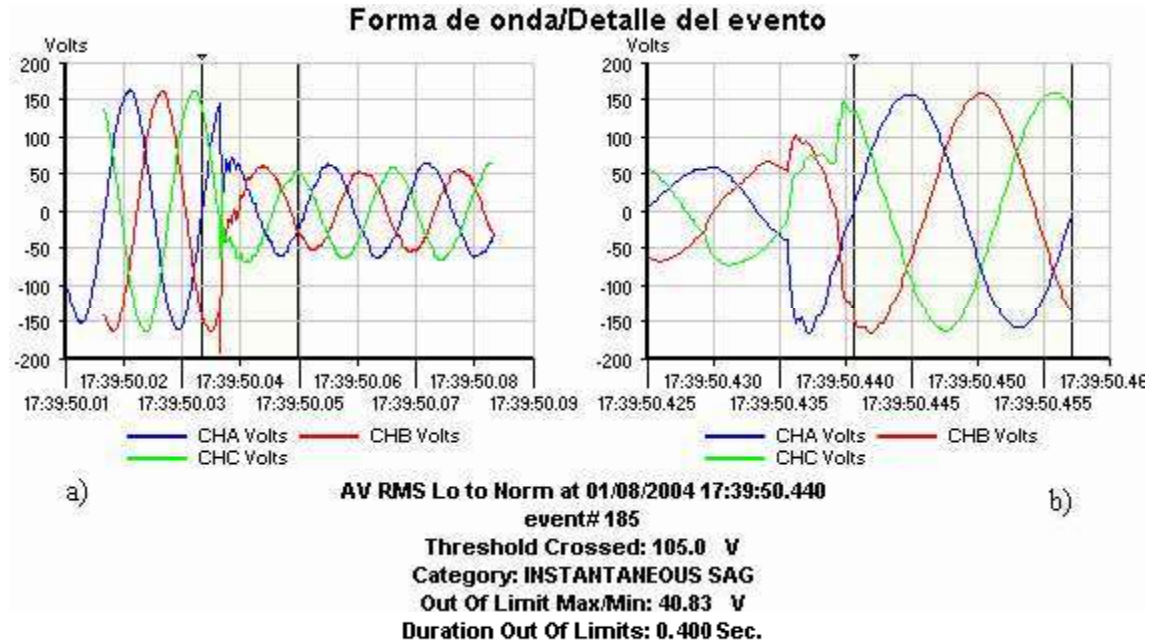


Figura 3.37 Forma de onda y detalle del sag en el archivo PCS 28; a) inicio, b) fin.

La Figura 3.38 muestra el comportamiento de la corriente al inicio y fin del transitorio, en ella se observa como al momento de que el voltaje bajo la corriente se incrementó en gran medida llegando hasta un valor pico de 6.84 A lo que en el circuito de 13,800 V representaría una corriente de 6566.4 A. También se observa la existencia de defasamientos entre las corrientes de las fases.

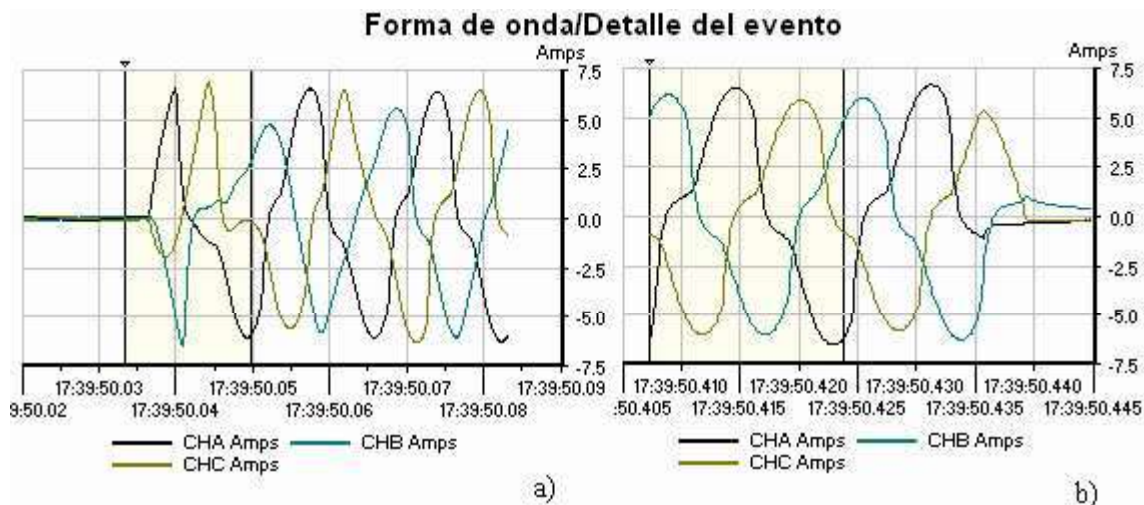


Figura 3.38 Gráficas para la corriente del sag en el archivo 28; a) inicio, b) fin.

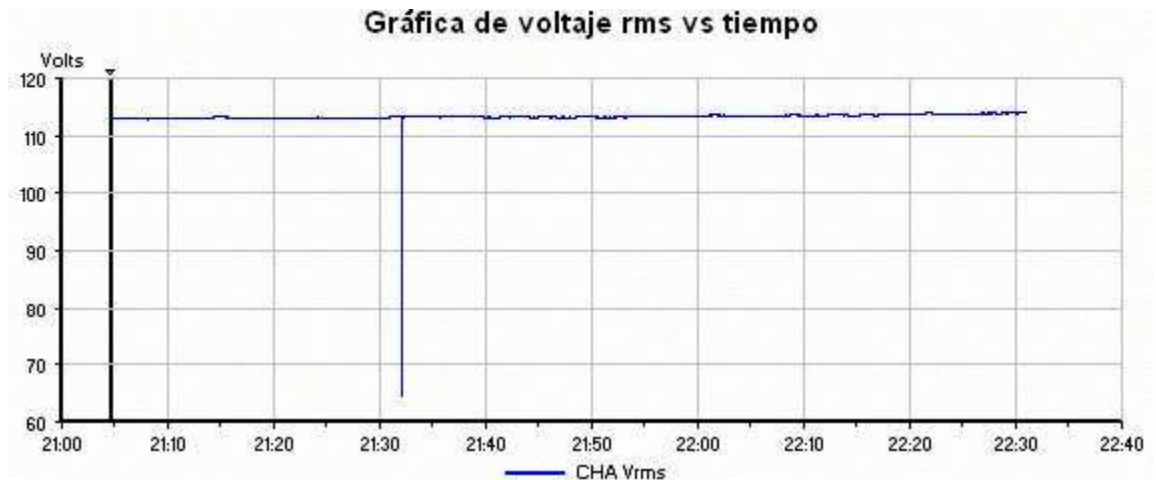
La Tabla 3.11 muestra los resultados de los eventos ocurridos en éste archivo.

Tabla 3.11 Resultados del archivo PCS 28

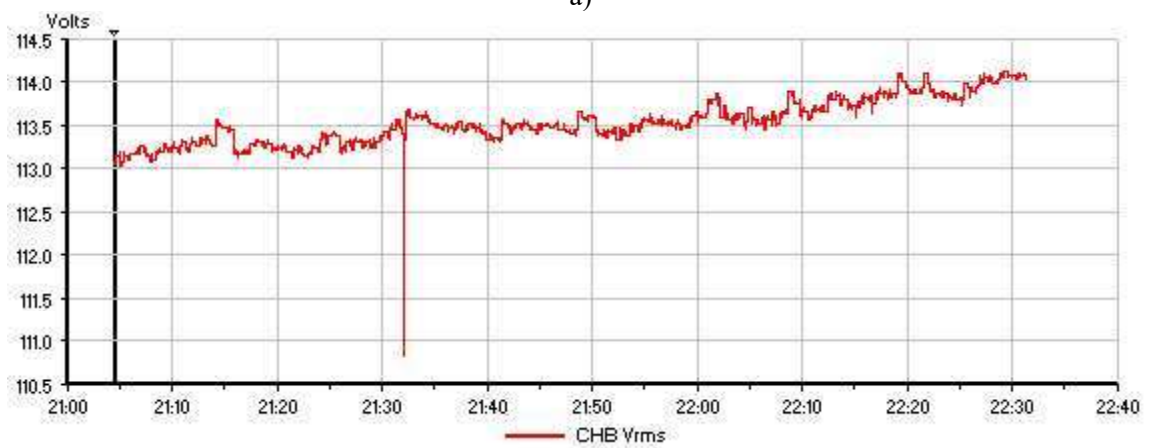
<b>Sags de voltaje ocurridos el 01/08/2004 de 17:25:25 a 18:40:46</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	40.8 V	0.400 seg	01/08/04	17:39:50.44
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 01/08/2004 de 17:25:25 a 18:40:46</b>				
	<b>Dato</b>		<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
	262.0 Vpk		01/08/04	17:28:27.6654
	174.6 Vpk		01/08/04	17:50:12.9882
	171.6 Vpk		01/08/04	18:17:37.9440

### 3.11 Análisis del Archivo PCS 33

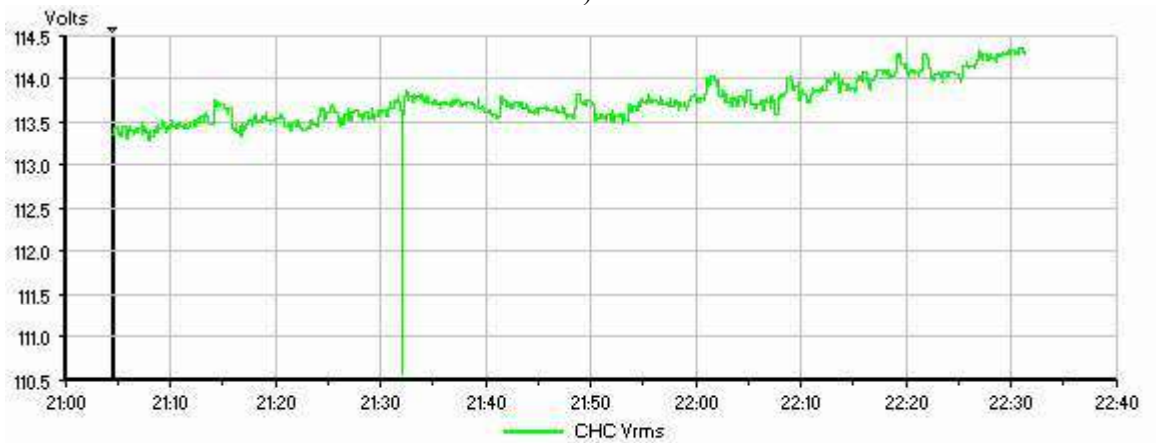
El archivo PCS 34 corresponde a los eventos presentados el domingo 8 de Agosto del 2004. Las gráficas de voltajes de éste archivo son mostradas en la Figura 3.39, donde la Figura 3.39a corresponde a la fase A y en la cual se puede observar que el voltaje tuvo un cruce por el voltaje de referencia de 105 V, lo que provocó seguramente algún evento. En las Figuras 3.39b y 3.39c, correspondientes a las fases B y C también se observa que se presento una disminución en el voltaje, pero en estas dos fases se registraron los voltajes mínimos de 110.82 V para la fase B y 110.56 V para C.



a)



b)



08/08/2004 21:00:00.00 - 08/08/2004 22:40:00.00

c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	64.51	113.96	113.28
CHB Vrms	110.82	114.13	113.51
CHC Vrms	110.56	114.35	113.71
CHABC Vrms	64.51	113.96	113.28

Figura 3.39 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 33; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.11.1 Sags

El único evento registrado en este archivo fue un sag, el cual tuvo una duración de 0.0583 seg, con lo cual es considerado un sag instantáneo. El voltaje mínimo alcanzado por la fase A fue de 64.51 V. La Figura 3.40 muestra la forma de onda del voltaje, donde se puede apreciar que efectivamente para la fase A, el voltaje decayó en mayor medida que en las otras dos fases, así de esta manera se puede concluir que solamente existió un sag para a fase A. En la forma de onda también se puede apreciar como al comienzo de que el voltaje decayera se presentó un pequeño transitorio de voltaje afectando principalmente a la fase C.

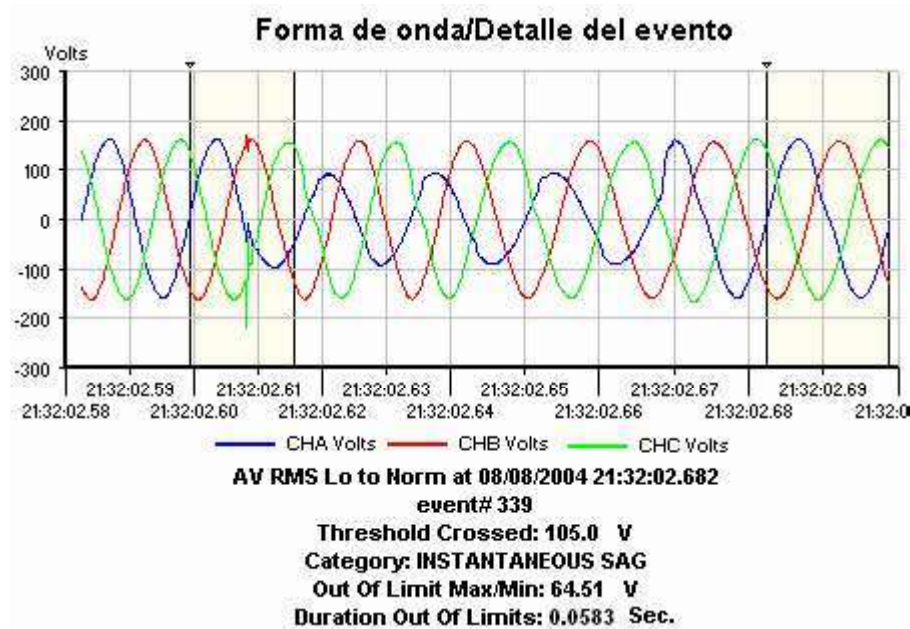


Figura 3.40 Gráfica de voltaje y detalle del evento presentado en el archivo PCS 33

La Figura 3.41 muestra la forma de onda de corriente que se presentó durante el sag, en la cual se puede percibir que tuvo una forma muy poco sinusoidal y que presentó su mayor valor en la fase A al momento de que el voltaje regreso a su valor nominal, con esto se corrobora que la fase A era la que estaba operando en un nivel no normal.

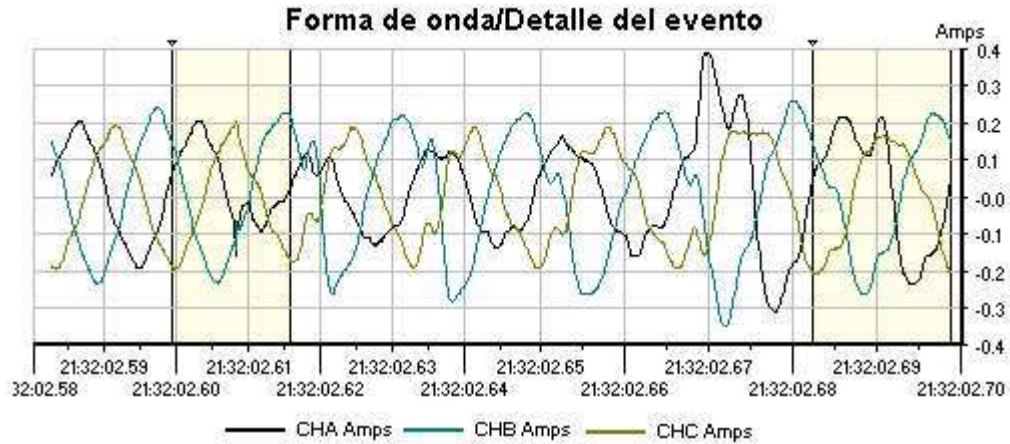


Figura 3.41 Forma de onda de corriente para el sag ocurrido.

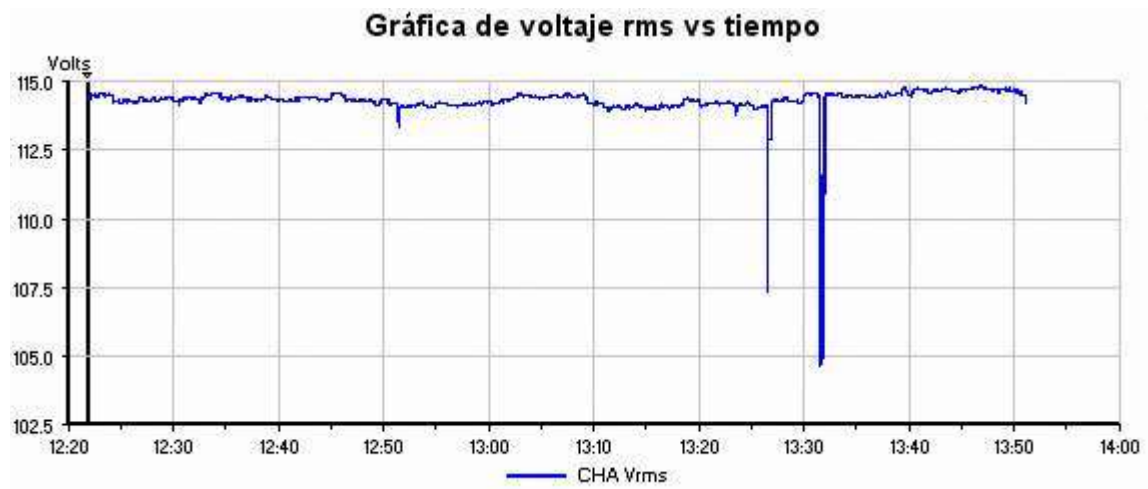
En la Tabla 3.12 se muestran los resultados del archivo PCS 33, en la cual se reporta que solamente existió un evento de sag con al categoría de instantáneo.

Tabla 3.12 Resultados del archivo PCS 33

Sags de voltaje ocurridos el 08/08/2004 de 21:04:28 a 22:31:21				
Categoría	Dato	Duración	Fecha	Hora
Instantáneo	64.51 V	0.0583 seg	08/08/04	21:32:02.682

### 3.12 Análisis del Archivo PCS 34

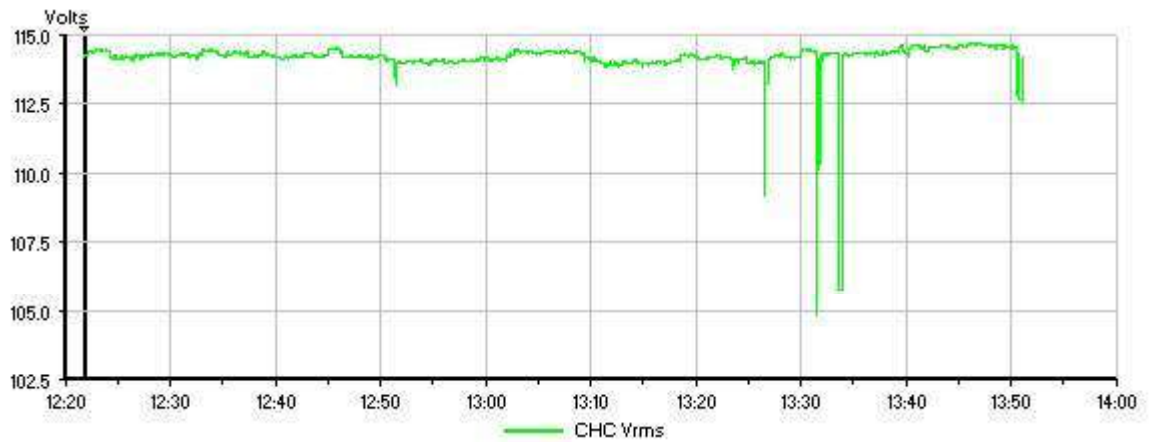
El Archivo PCS 34 corresponde a los eventos registrados el día lunes 09 de Agosto del 2004. La Figura 3.42 muestra las gráficas, para los voltajes de la fase A, B y C respectivamente, en las cuales se puede apreciar que el umbral inferior de 105 V fue cruzado en algunas ocasiones, principalmente en la fase A, provocando algunos eventos de sags. En estas gráficas se puede percibir que existieron varias depresiones de voltaje, las cuales no fueron similares ni en magnitud ni en tiempo de suceso para cada una de ellas. También se observa que la fase B fue la que se mantuvo mas estable, con solamente dos disminuciones de voltaje, una de las cuales si cruzo el umbral. En las otras dos fases se presentaron mas disminuciones; aunque el voltaje de la fase C también solamente cruzo en una ocasión el umbral inferior. El voltaje mínimo y máximo que registro éste archivo se muestra en la tabla inferior de la Figura 3.42.



a)



b)



c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	104.58	114.83	114.33
CHB Vrms	104.74	114.76	114.16
CHC Vrms	104.80	114.71	114.25
CHABC Vrms	104.58	114.83	114.33

Figura 3.42 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 34; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.12.1 Sags

Los sags que se presentaron durante éste archivo desafortunadamente no grabaron la forma de onda, solamente se guardaron los detalles de los eventos. La Figura 3.43 muestra un acercamiento a los pico mínimo de voltaje que se muestra en la Figura 3.42a, en ésta gráfica se puede observar que existieron ocho cruces a trabes del umbral inferior de 105 V.

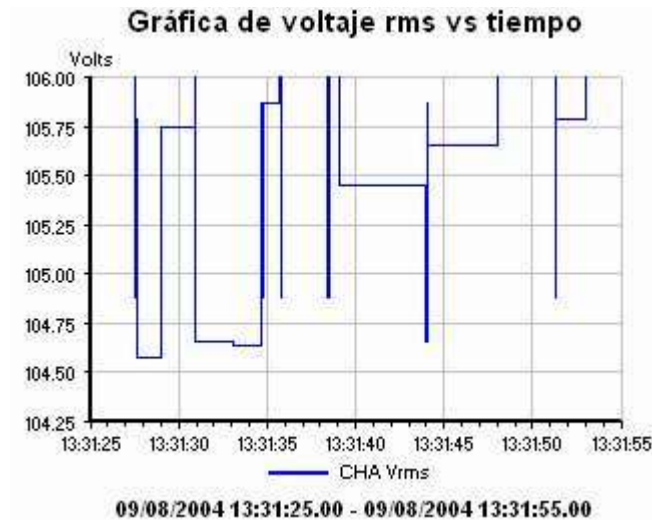


Figura 3.43 Acercamiento del pico mínimo registrado para la fase A del archivo PCS 34

El primer sag registrado tuvo una duración de 0.016 seg alcanzando un voltaje mínimo de 104.9 V, los detalles del evento se muestran en la Figura 3.44 en la cual la 3.44a muestra cuando se cruzó el límite de voltaje y en la cual se muestran los voltajes y las corrientes de cada fase, en la 3.44b se muestra en fin del evento.

<b>Forma de onda/Detalle del evento</b>						<b>Forma de onda/Detalle del evento</b>					
AV RMS Norm to Lo at 09/08/2004 13:31:27.513						AV RMS Lo to Norm at 09/08/2004 13:31:27.563					
event# 843						event# 844					
Threshold Crossed: 105.0 V						Threshold Crossed: 105.0 V					
Category: INSTANTANEOUS SAG						Category: INSTANTANEOUS SAG					
Out Of Limit Max/Min: 104.9 V						Out Of Limit Max/Min: 104.9 V					
Duration Out Of Limits: 0.016 Sec.						Duration Out Of Limits: 0.016 Sec.					
Unit	A	B	C	D	ABC	Unit	A	B	C	D	ABC
V	104.9	107.3	104.9	0.2	104.9	V	105.8	111.4	107.8	0.2	105.8
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
a)						b)					

Figura 3.44 Detalle del primer sag: a) inicio, b) fin.

El segundo sag presentado tuvo una duración de 1.35 seg. lo cual respecto a la categoría de IEEE lo coloca como un sag momentáneo, registro un valor de voltaje mínimo de 104.3 V. Los detalles del evento se presentan en la Figura 3.45, donde 3.45a muestra en inicio y 3.45b el fin del evento.

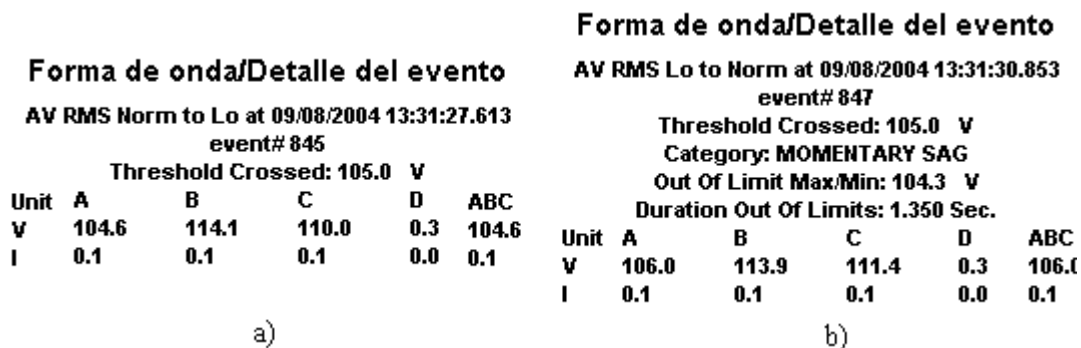


Figura 3.45 Detalle del segundo sag a) inicio, b) fin.

El tercer sag presentado fue el de mayor duración con un tiempo de 3.518 seg, de acuerdo a su duración, que se encuentra entre 3 seg y 1 min, se considera como un sag temporal. El voltaje mínimo registrado fue de 104.3 V. Los detalles del evento se presentan en la Figura 3.46, donde a) muestra en inicio y b) el fin del evento.

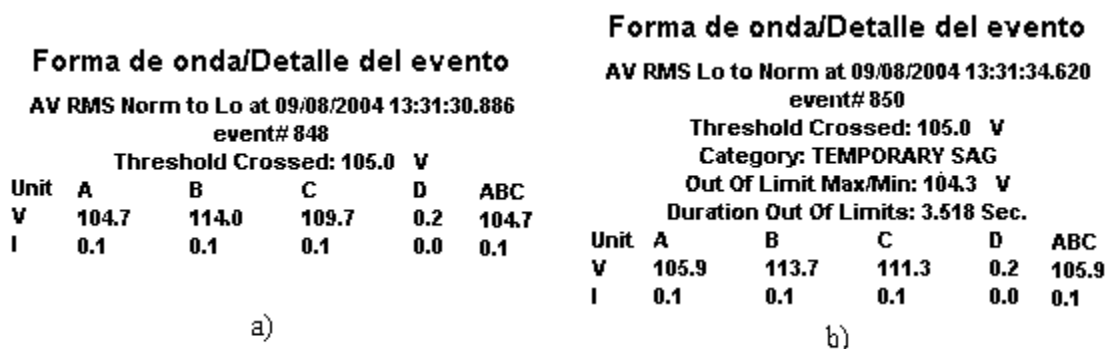


Figura 3.46 Detalle del tercer sag a) inicio, b) fin.

El cuarto sag tuvo una duración de 0.2 seg, por lo cual es un sag instantáneo con un voltaje mínimo de 104.6 V, en la Figura 3.47 se muestran los detalles de inicio y fin del cuarto sag presentado.



**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Norm to Lo at 09/08/2004 13:31:34.636  
event# 851

Threshold Crossed: 105.0 V					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	104.9	113.6	110.2	0.2	104.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

a)

**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Lo to Norm at 09/08/2004 13:31:34.686  
event# 852

Threshold Crossed: 105.0 V					
Category: INSTANTANEOUS SAG					
Out Of Limit Max/Min: 104.6 V					
Duration Out Of Limits: 0.200 Sec.					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	105.9	113.7	111.2	0.2	105.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

b)

Figura 3.47 Detalle del cuarto sag a) inicio, b) fin.

Las Figuras 3.48 y 3.49 muestran los detalles de los sag quinto y sexto respectivamente, que se presentaron en el archivo PCS 34 estos dos tuvieron una duración de 0.016 seg por lo cual son instantáneos y un voltaje mínimo de 104.9 V. El quinto termino a las 13:31:35.773 y el sexto a las 13:31:38.366 horas

**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Norm to Lo at 09/08/2004 13:31:35.723  
event# 855

Threshold Crossed: 105.0 V					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	104.9	113.7	110.2	0.2	104.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

a)

**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Lo to Norm at 09/08/2004 13:31:35.773  
event# 856

Threshold Crossed: 105.0 V					
Category: INSTANTANEOUS SAG					
Out Of Limit Max/Min: 104.9 V					
Duration Out Of Limits: 0.016 Sec.					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	106.0	113.8	111.2	0.2	106.0
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

b)

Figura 3.48 Detalle del quinto sag a) inicio, b) fin.

**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Norm to Lo at 09/08/2004 13:31:38.316  
event# 857

Threshold Crossed: 105.0 V					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	104.9	113.9	110.3	0.2	104.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

a)

**Forma de onda/Detalle del evento**

AV RMS Lo to Norm at 09/08/2004 13:31:38.366  
event# 858

Threshold Crossed: 105.0 V					
Category: INSTANTANEOUS SAG					
Out Of Limit Max/Min: 104.9 V					
Duration Out Of Limits: 0.016 Sec.					
Unit	A	B	C	D	ABC
V	105.9	113.9	111.1	0.2	105.9
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

b)

Figura 3.49 Detalle del sexto sag a) inicio, b) fin.

El séptimo sag que se presentó registró un voltaje mínimo de 104.8 V con una duración de 0.034 seg, éste fue registrado a la 13:31:38.483 horas. Los detalles del evento son presentados en la Figura 3.50.

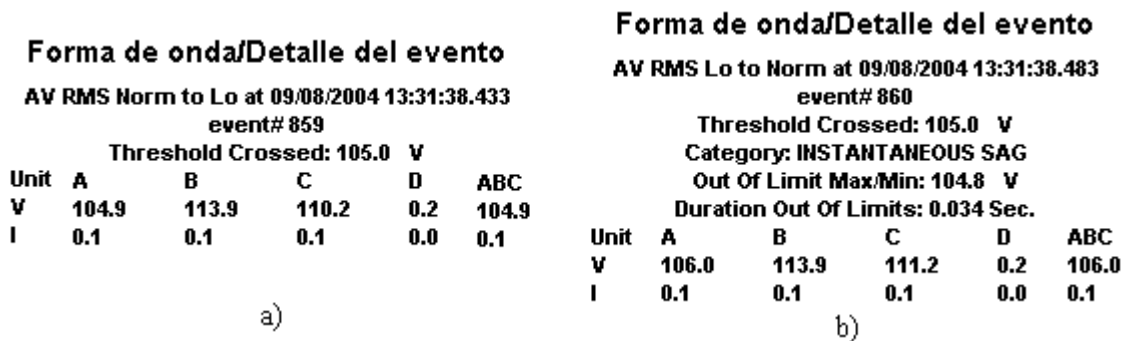


Figura 3.50 Detalle del séptimo sag a) inicio, b) fin.

El último sag presentado en el archivo PCS 34 tuvo fin a las 13:31:43.976 horas, alcanzó un voltaje mínimo de 104.7 V con una duración de 0.066 seg. La Figura 3.51 muestra los detalles del último evento presentado en este archivo

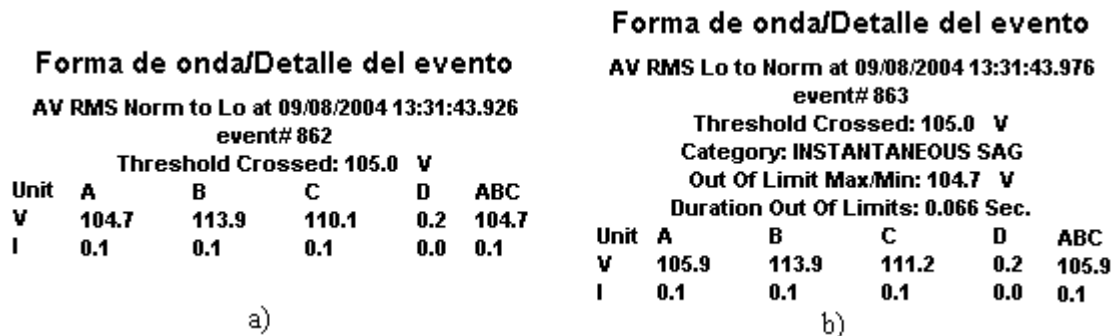


Figura 3.51 Detalle del octavo sag a) inicio, b) fin.

Como se puede apreciar todos los sags ocurrieron consecutivamente durante un lapso de 16.413 seg, los valores de voltaje mínimo oscilaron entre 104.9 y 104.3 V. Seis fueron sags instantáneos, uno momentáneo y otro temporal, los resultados de los eventos presentados en el archivo PCS 34 se muestran en la Tabla 3.13.

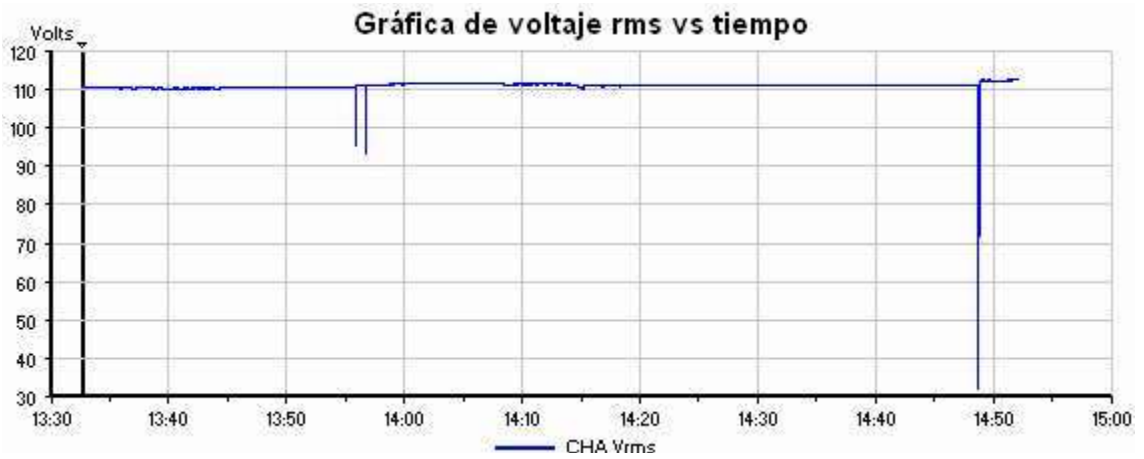
Tabla 3.13 Resultados del archivo PCS 34

<b>Sags de voltaje ocurridos el 09/08/2004 de 13:25:00 a 13:35:00</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	104.9 V	0.016 seg	09/08/04	13.31:27.563
Momentáneo	104.3 V	1.350 seg	09/08/04	13.31:30.853
Temporal	104.3 V	3.518 seg	09/08/04	13.31:34.620
Instantáneo	104.6 V	0.200 seg	09/08/04	13.31:34.686
Instantáneo	104.9 V	0.016 seg	09/08/04	13.31:35.773
Instantáneo	104.9 V	0.016 seg	09/08/04	13.31:38.366
Instantáneo	104.8 V	0.034 seg	09/08/04	13.31:38.483
Instantáneo	104.7 V	0.066 seg	09/08/04	13.31:43.976

### 3.13 Análisis del Archivo PCS 35

El archivo PCS 35 corresponde a eventos presentados el día martes 10 de Agosto del año 2004, En la Figura 3.52 se muestran las gráficas de voltaje para las fases monitoreadas, de las cuales en la Figura 3.52a y 3.52c que corresponden a la fase A y C respectivamente se observa que existe tres cruces por el umbral inferior de 105 V lo que provoco seguramente tres sags, al contrario en la fase B Figura 3.52b solo se presentan dos cruces, ya que aunque la segunda depresión existió un baja voltaje, ésta no llevo a cruzar en umbral inferior. En las graficas de éste archivo también se puede ver que el último decaimiento de voltaje fue muy severo llegando hasta un nivel de voltaje muy pequeño.

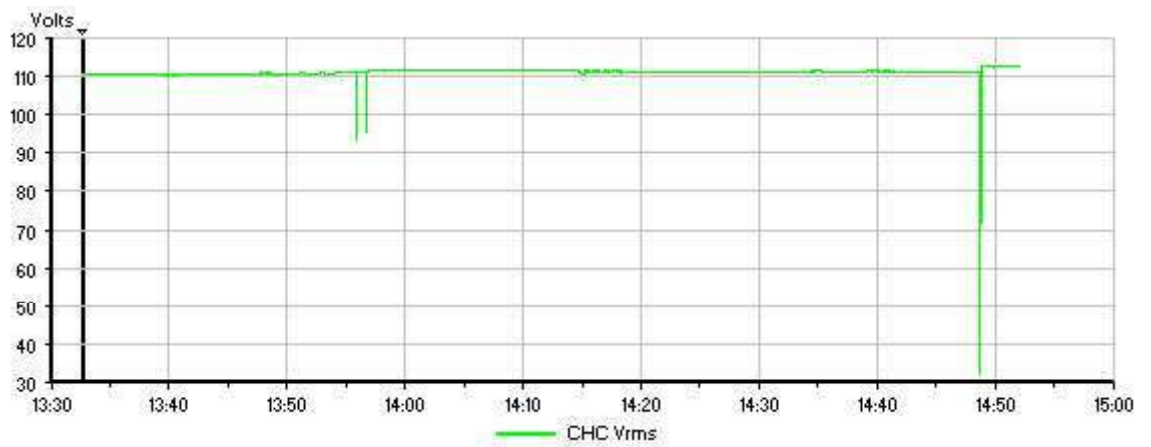
El la tabla inferior de la Figura 3.52 se muestran los valores mínimos, máximos y el valor medio de los nivele de voltaje aquí graficados, en la cual se puede apreciar que la fase C fue la que llevo a un voltaje menor de 32.17 V.



a)



b)



c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	32.33	112.73	111.09
CHB Vrms	35.47	112.83	111.11
CHC Vrms	32.17	112.93	111.25
CHABC Vrms	32.33	112.73	111.09

Figura 3.52 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 35; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.13.1 Sags

El primer sag presentado en éste archivo llego a un voltaje mínimo de 95.17 V con una duración de 0.034 segundos con lo cual obtuvo la categoría de instantáneo, este sag no capturo los primeros ciclos en que el voltaje bajo. La Figura 3.53 muestra la forma de onda y el detalle del evento, en la Figura 3.53a se muestra el comportamiento del voltaje en la que se observa que al momento de recuperar el voltaje nominal la fase B tuvo una pequeña deformación.

La Figura 3.53b es la gráfica de la corriente que se presento durante el sag, en la cual se muestra que la corriente es mayor cuando el voltaje en menor, y al momento de que el voltaje se recupera la corriente disminuye, pero al efectuarse éste cambio la forma de onda de la corriente se distorsiona en gran forma.



Figura 3.53 Forma de onda y detalle del primer sag en el archivo PCS 35; a) Voltaje, b) Corriente

El segundo sag presentado durante el monitoreo del archivo PCS 35, alcanzo un voltaje mínimo de 93.12 V y una duración de 0.134 seg, con lo que se considera como un sag de categoría instantáneo.

La forma de onda del voltaje para éste evento es presentada en la Figura 3.54a donde se observa que los voltajes en las fases A y C fueron menores que en la fase B, como se demostraba en el diagrama de tiempo de la gráfica 3.52b. Por otro lado se puede observar

que se presentó una pequeña fluctuación de voltaje en la fase A y B. Para éste evento no fue grabado la forma de onda desde el momento en que el voltaje disminuyo, solamente se cuenta con la forma de onda en parte final del evento.

La gráfica de la Figura 3.54b, muestra la forma de la corriente donde se puede observar que la corriente de las fases A y B fueron mucho mayores que la corriente de la fase C, la cual presentó un incremento en el instante en que en las fases A y B existió el transitorio, y en las otras dos corrientes no se presentó ninguna perturbación.



Figura 3.54 Gráficas y detalle del segundo sag presentado en el archivo PCS 35; a) gráfica de voltaje, b) grafica de corriente.

El último evento que se presentó en este archivo fue el más grave de los tres ocurridos, debido a que llego hasta un voltaje de 32.33 V. en llegar a este voltaje no tardó ni un ciclo por lo cual se observa que se presentó oscilaciones transitorias al comienzo de que el voltaje decayó, así se mantuvo aproximadamente durante cuatro ciclos y después recobro un poco mas de voltaje, pero no el suficiente para que sobrepasara el umbral de 105 V. La Figura 3.55 muestra el voltaje de éste evento, en la parte inferior de la imagen se presentan los detalles del evento.



Figura 3.55 Forma de onda para el voltaje y detalles del evento

A continuación en la Figura 3.56 se muestra el comportamiento que tuvo la corriente ante este fenómeno, donde se observa como al momento de que el voltaje cambia de valor la corriente se opone al cambio debido principalmente a la presencia de las características inductivas del sistema.

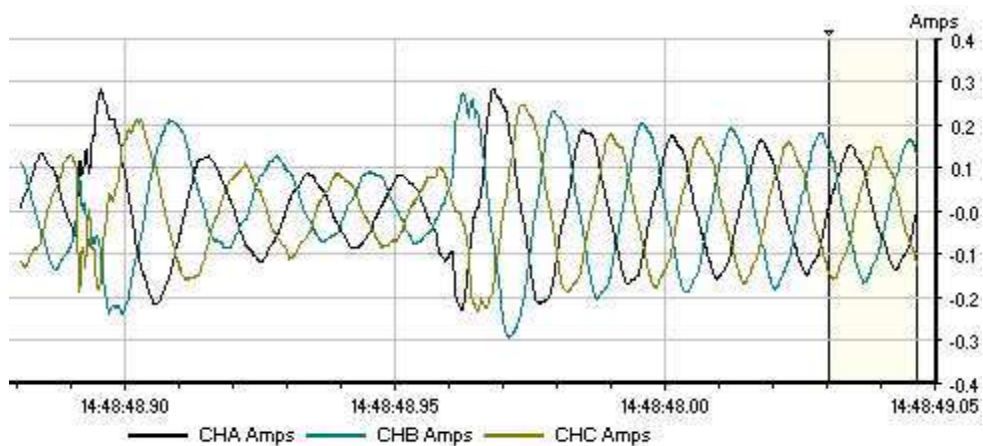


Figura 3.56 Gráfica de corriente.

En la Tabla 3.14 se muestran los resultados obtenidos del archivo PCS 35 en la cual se resume que se obtuvieron tres sags instantáneos de diferente duración y valor de voltaje.

Tabla 3.14 Resultados del archivo PCS 35

<b>Sags de voltaje ocurridos el 10/08/2004 de 13:32:25 a 14:52:10</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	95.17 V	0.034 seg	10/08/04	13:55:54.720
Instantáneo	93.12 V	0.134 seg	10/08/04	13:56:44.093
Instantáneo	32.33 V	0.150 seg	10/08/04	14:48:48.030

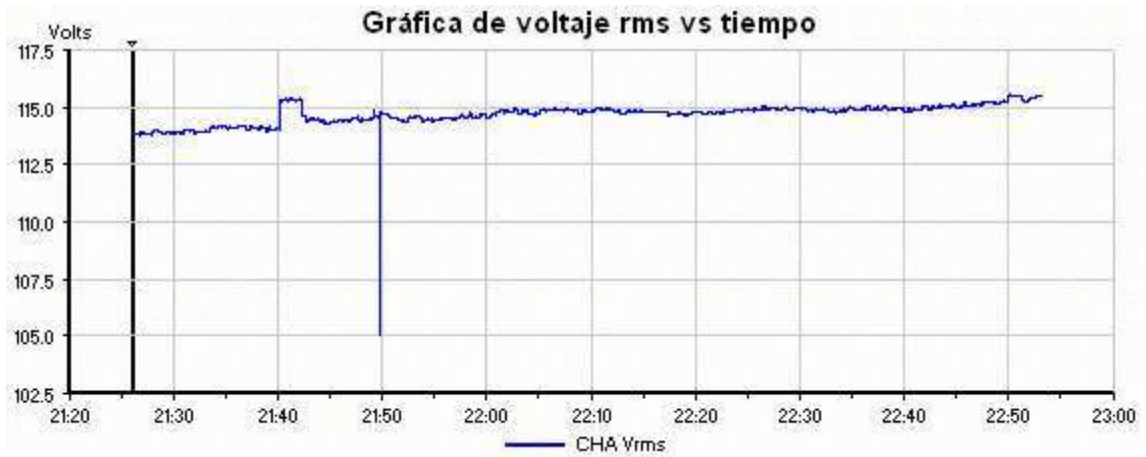
### 3.14 Análisis del Archivo PCS 37

El archivo PCS 37 corresponde a los eventos monitoreados el día 10 de agosto del 2004, en la Figura 3.57 se presentan las gráficas de voltaje rms para cada fase, en ellas se observa que el voltaje presentó un incremento alrededor de las 21 horas con 40 minutos y después disminuyó un poco, durante la elevación de voltaje no se presentó ningún fenómeno, pero durante ésta elevación de voltaje existió un impulso transitorio que se puede apreciar mejor en la gráfica de la fase C, en la cual se observa que se presentó una fluctuación en el voltaje. Posteriormente se presentó una depresión en el voltaje en el que ocurrió otro impulso transitorio, éste no llegó a ser un sag debido a que el voltaje sí disminuyó pero no cruzó el umbral inferior de 105 V.

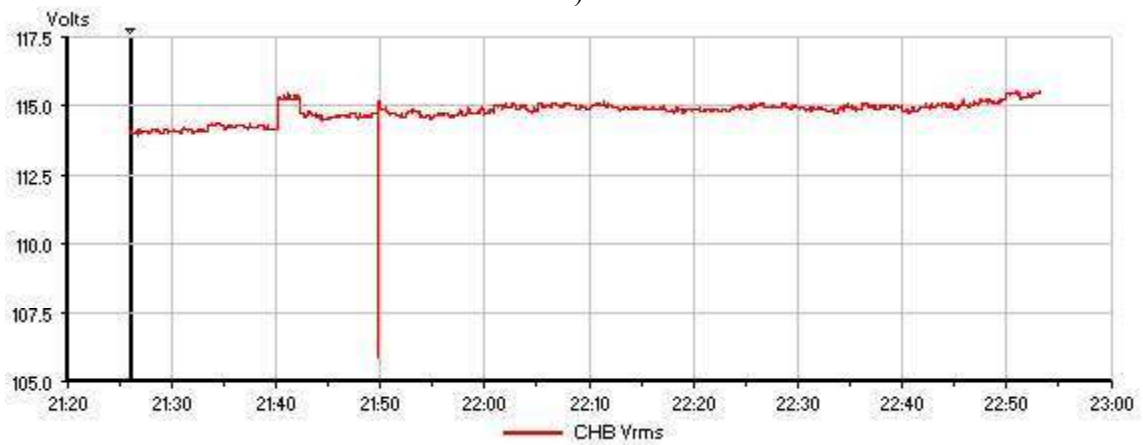
Después del segundo impulso transitorio no se percibe la existencia de ningún otro evento, el nivel del voltaje se mantuvo sin mayores anomalías en el resto del tiempo que duró la grabación de los datos en este archivo

La gráfica de la fase C aparentemente presenta más distorsiones, sin embargo no es éste el caso, la causa de esta apariencia son los márgenes dentro de los cuales está graficada.





a)



b)



10/08/2004 21:20:00.00 - 10/08/2004 23:00:00.00

c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	104.12	115.58	114.80
CHB Vrms	105.88	115.54	114.89
CHC Vrms	112.00	115.92	115.05
CHABC Vrms	104.12	115.58	114.80

Figura 3.57 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 37; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.14.1 Transitorios

El primer evento que ocurrido en este archivo fue un impulso transitorio el que dadas las circunstancias se debió a una descarga atmosférica inducida, la cual afecto a las tres fases, aunque en mayor medida a la fase B y C, este transitorio se presentó a las 21:41:15.5631 horas, siendo un poco después de que el voltaje había incrementado su tensión. Este transitorio registró un voltaje de 105.4 Vpk.

En la Figura 3.58 se muestra la forma de onda para el voltaje y corriente, así también como los detalles del evento. En la gráfica 3.58b se observa que la corriente no tiene una forma sinusoidal, además de que la corriente en la fase B es de mayor amplitud que las otras dos. También se puede apreciar como la corriente tuvo una fluctuación al instante de que se alteró el voltaje.



Figura 3.58 Impulso transitorio del archivo PCS 37; a) gráfica de voltaje, b) gráfica de corriente.

El segundo transitorio que se presentó en el archivo PCS 37, ocurrió al momento de que el voltaje decayó, como se pudo observar en las gráficas de la Figura 3.57. Este impulso transitorio ocurrió a las 21:49:19.5036 horas y registró un voltaje de 108.4 Vpk el cual no es muy elevado. La forma de onda de éste evento se muestra en la Figura 3.59, en la cual se percibe que la fase C fue la más afectada, en la Figura 3.59b se muestra la forma de onda para la corriente durante el evento.

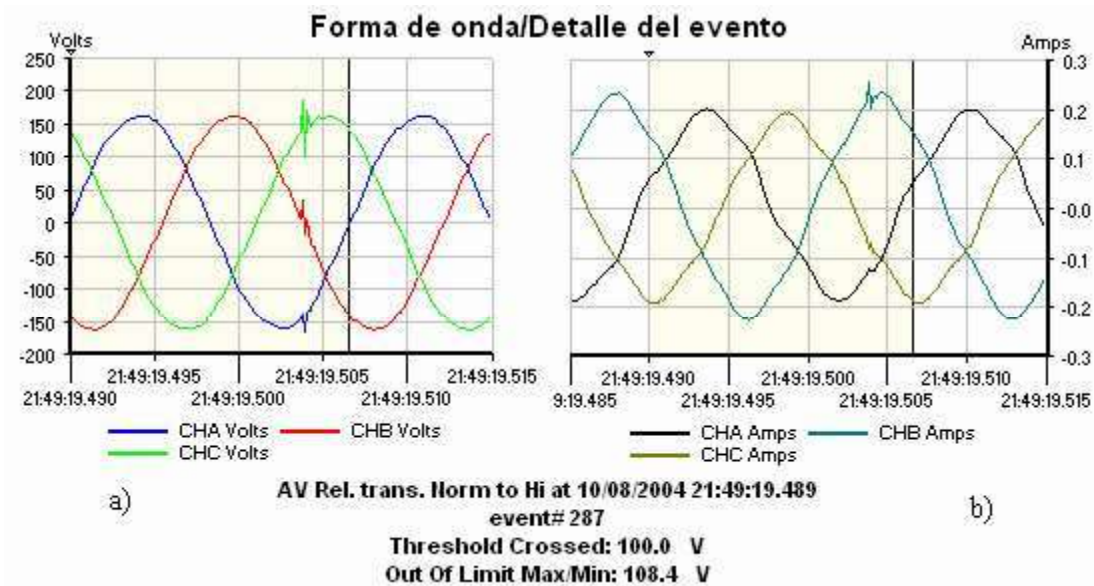


Figura 3.59 Segundo impulso transitorio del archivo PCS 37; a) gráfica de voltaje, b) grafica de corriente.

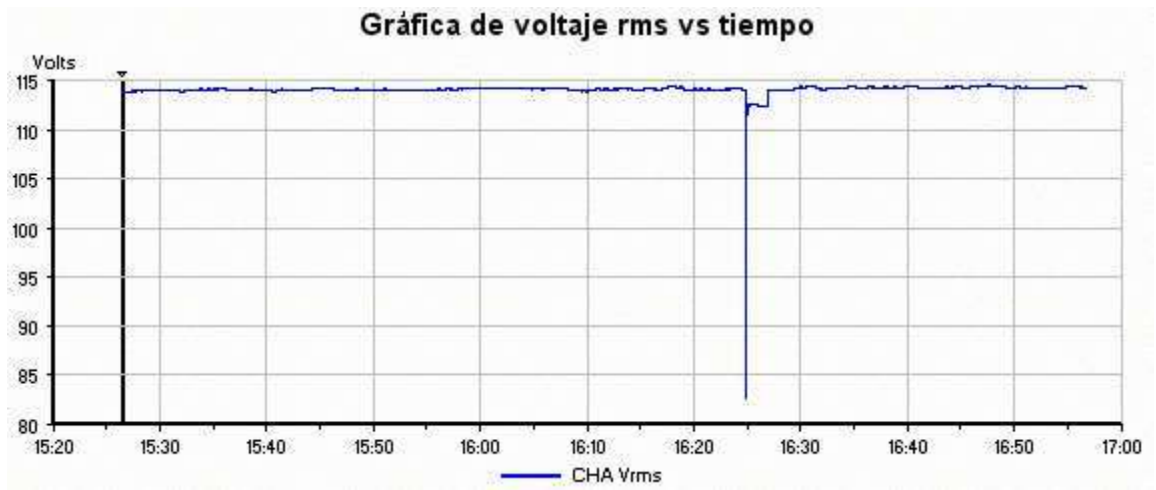
Los resultados obtenidos del archivo PCS 37 son los que se presentan en la Tabla 3.15, en la que se reporta que solamente ocurrieron dos transitorios uno con un voltaje de 105.4 Vpk y otro con 108.4 Vpk.

Tabla 3.15 Resultados del archivo PCS 37

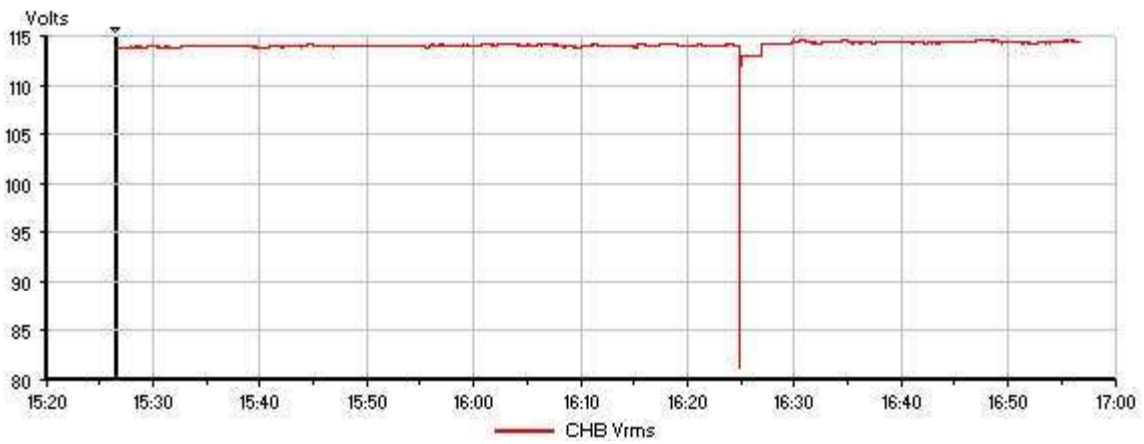
<b>Transitorios de voltaje ocurridos el 10/08/2004 de 21:25:57 a 22:53:17</b>		
<b>Dato</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
105.4 Vpk	10/08/04	21:41:15.5631
108.4 Vpk	10/08/04	21:49:19.5036

### 3.15 Análisis del Archivo PCS 52

El Archivo PCS 52 corresponde a los eventos monitoreados el día domingo 10 de octubre del 2004, este archivo es el último de los 57 archivos grabados que presentó algún tipo de evento. La Figura 3.60 muestra las gráficas de voltaje rms para las tres fases, en estas gráficas se puede apreciar que se presentó una baja de voltaje, principalmente en las fases A y B. El voltaje en la fase C no cruzó el umbral inferior de 105 V, por lo que no se presentó un sag en ésta fase, esto se puede corroborar viendo los datos con que cuenta la tabla que esta en la parte inferior de la Figura 3.60.



a)



b)



10/10/2004 15:20:00.00 - 10/10/2004 17:00:00.00

c)

	Min	Max	Median
CHA Vrms	82.64	114.52	114.10
CHB Vrms	81.12	114.63	114.05
CHC Vrms	111.01	114.75	114.39
CHABC Vrms	82.64	114.52	114.10

Figura 3.60 Diagrama del tiempo para el archivo PCS 52; a) Fase A, b) Fase B, c) Fase C

### 3.15.1 Sag

El único fenómeno que se presentó en éste archivo fue un sag en las fase A y B, éste sag se muestra en la Figura 3.61, la gráfica 3.61a muestra el voltaje, donde se puede apreciar que el voltaje de las fases A y B precisamente fueron las de voltaje menor. La grafica 3.61b muestra la forma de onda de la corriente en la cual se ve que esta totalmente desfasada y que presenta muchas fluctuaciones. Solamente se grabo la forma de onda al final del sag.

En la Figura 3.62 se muestran los detalles de este sag, en el cual se muestra la duración del sag, la cual fue de 0.116 seg, con lo que se categoriza como sag instantáneo y registro un voltaje de 82.34 V.

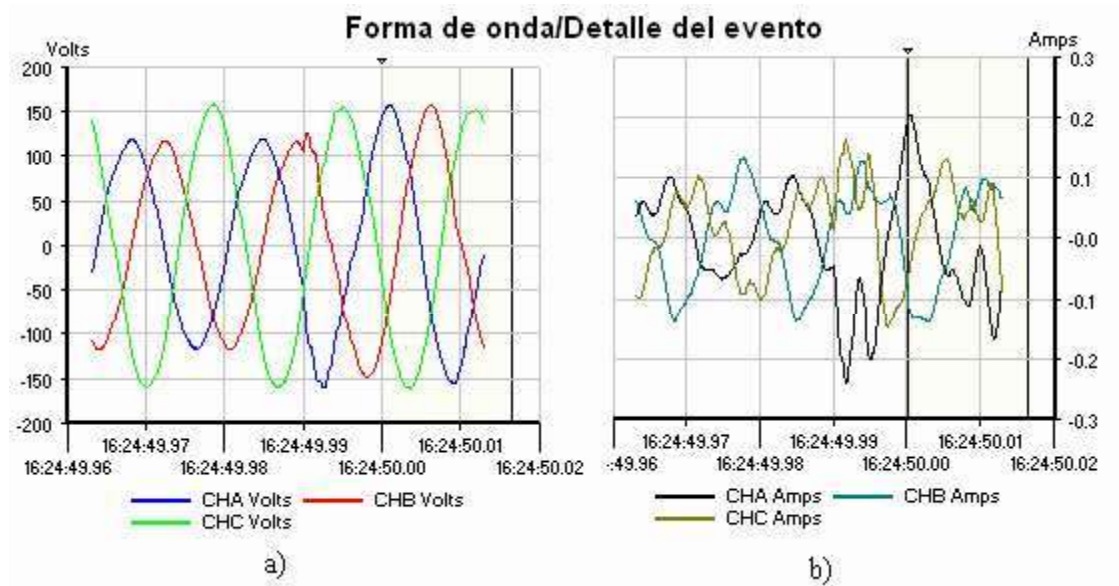


Figura 3.61 Forma de onda del sag presentado en el archivo PCS 52; a) gráfica de voltaje, b) grafica de corriente.

#### Forma de onda/Detalle del evento

AV RMS Lo to Norm at 10/10/2004 16:24:50.013

event# 708

Threshold Crossed: 105.0 V

Category: INSTANTANEOUS SAG

Out Of Limit Max/Min: 82.34 V

Duration Out Of Limits: 0.116 Sec.

Unit	A	B	C	D	ABC
V	106.5	106.6	111.2	0.2	106.5
I	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1

Figura 3.62 Detalle del evento presentado en el archivo PCS 52

Los resultados obtenidos del archivo PCS 52 se presentan en la Tabla 3.16, en la cual se reporta solamente la presencia de un sag de voltaje.

Tabla 3.16 Resultados del archivo PCS 52

<b>Sags de voltaje ocurridos el 10/10/2004 de 15:26:19 a 16:56:59</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Dato</b>	<b>Duración</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
Instantáneo	82.34 V	0.116 seg	10/10/04	16:24:50.013

### 3.16 Resultados del monitoreo

Durante los cuatro meses que el alimentador de distribución se estuvo monitoreando solamente se presentaron variaciones de corta duración y transitorios. Dentro de las variaciones de corta duración no se presentó ningún tipo de swell o interrupción, ocurrieron 18 sags instantáneos, 3 sags momentáneos y 2 sags temporales. La mayor duración de tiempo que los sags ocurrieron fue de 4.2 segundos, el cual fue un sag temporal del archivo PCS 11 y la menor duración que tuvieron algunos sags instantáneos tuvieron fue de 0.016 seg.

Los otros fenómenos que se presentaron durante el monitoreo, fueron impulsos transitorios, los cuales sumaron un total de 19 impulsos transitorios originados principalmente por descargas atmosféricas inducidas. Debido a que la velocidad de muestreo del instrumento no es lo suficientemente rápida, no se pudo hacer una categorización más detallada para cada impulso como era el objetivo inicial, ya que la clasificación de los eventos era de acuerdo a las categorías que se recomiendan por IEEE 1159-1995. La Tabla 3.17 señala la cantidad de sags y transitorios que se presentaron durante el periodo que se estuvo monitoreando el alimentador.

Tabla 3.17 Resultado global del monitoreo

<b>No de eventos</b>	<b>Categorías</b>
18	sags instantáneos
3	sags momentáneos
2	sags temporales
19	impulsos transitorios

### 3.16.1 Resultados de sags de voltaje

Los resultados de los sags de voltaje se muestran en la Tabla 3.18, en la cual se señala el tiempo de duración de cada evento, el voltaje mínimo que se registro, el nivel de tensión del sag expresado en por ciento, así como también el voltaje que se tendría en el alimentador, esto simplemente multiplicando el voltaje que midió el instrumento por la relación de transformación de TP.

Tabla 3.18 Detalle de los sags de voltaje presentados durante el monitoreo del alimentador.

Duración (seg)	Voltaje (V)	Magnitud (%)	Voltaje en el alimentador (V)	
			Fase-neutro	Fase-Fase
0.016	104.9	89.91428571	7343	12718.44315
0.016	104.9	89.91428571	7343	12718.44315
0.016	104.9	89.91428571	7343	12718.44315
0.034	99.1	84.94285714	6937	12015.23085
0.034	94.9	81.34285714	6643	11506.00815
0.034	104.8	89.82857143	7336	12706.3188
0.034	95.17	81.57428571	6661.9	11538.7439
0.0583	64.51	55.29428571	4515.7	7821.418185
0.066	104.7	89.74285714	7329	12694.19445
0.116	82.34	70.57714286	5763.8	9983.18979
0.134	93.12	79.81714286	6518.4	11290.19472
0.15	32.33	27.71142857	2263.1	3919.802355
0.2	104.6	89.65714286	7322	12682.0701
0.284	69.07	59.20285714	4834.9	8374.288545
0.35	73.4	62.91428571	5138	8899.2729
0.366	100.9	86.48571429	7063	12233.46915
0.4	40.8	34.97142857	2856	4946.7348
0.484	87.8	75.25714286	6146	10645.1793
0.516	54.2	46.45714286	3794	6571.3977
0.95	88.1	75.51428571	6167	10681.55235
1.35	104.3	89.4	7301	12645.69705
3.518	104.3	89.4	7301	12645.69705
4.2	73.07	62.63142857	5114.9	8859.262545

Otra forma de representar los resultados obtenidos, para los sag de voltaje, es por medio de la tabla de densidad de sags, la cual expresa la evaluación cuantitativa de sags, mediante una tabla con rangos de magnitud y duración. Esto es hecho en la Tabla 3.19 partiendo de los datos obtenido de la Tabla 3.18. Cada elemento de la tabla da el número de eventos con magnitud y duración dentro de un cierto rango.

Tabla 3.19 Tabla de densidad de sags: Número de sags durante los 4 meses.

Magnitud	0-200ms	200-400ms	400-600ms	600-800ms	>800ms
80-90%	9.0	1.0	0.0	0.0	2.0
70-80%	2.0	0.0	1.0	0.0	1.0
60-70%	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
50-60%	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
40-50%	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
30-40%	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
20-30%	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10-20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0-10%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Los datos de la Tabla de densidad de sags, se representan mediante una gráfica de barras, la cual se muestra en la Figura 3.63.

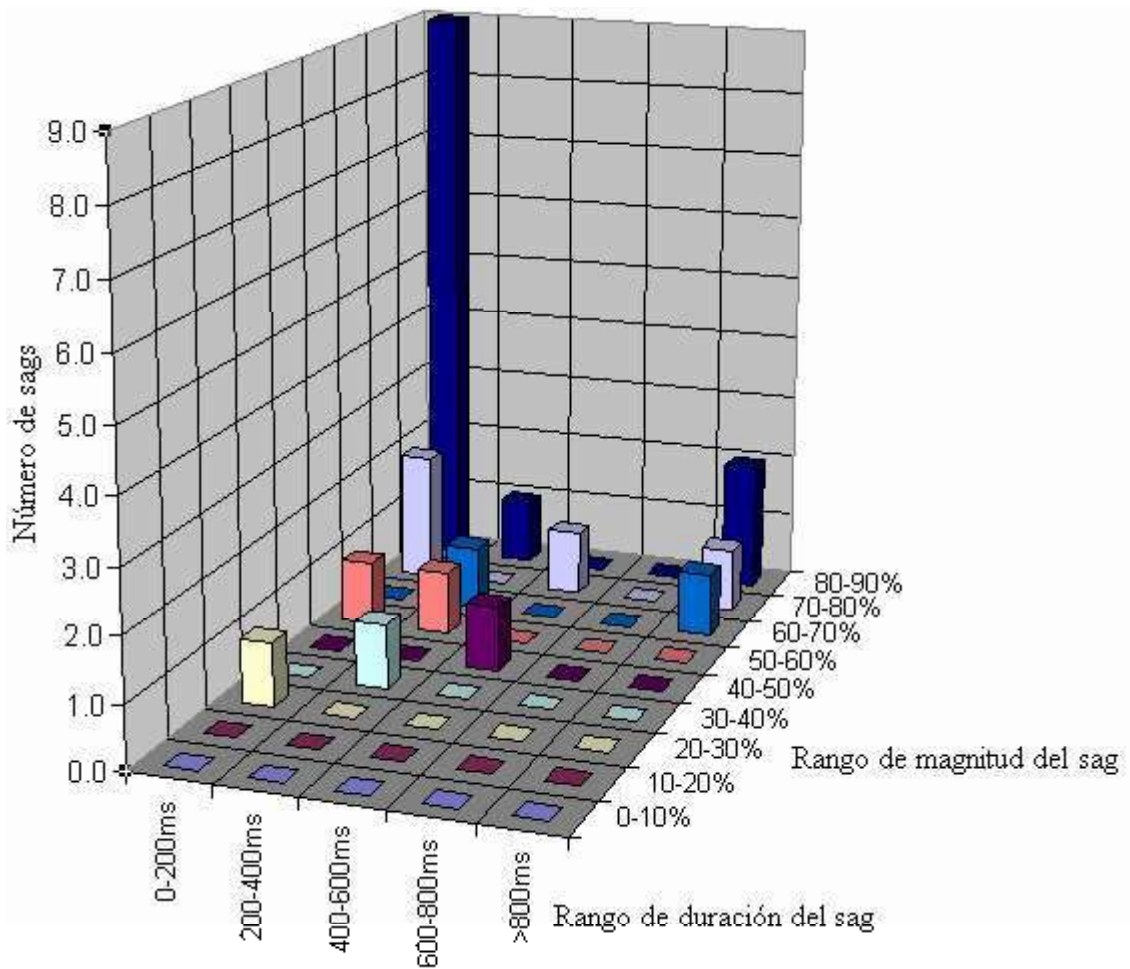


Figura 3.63 Gráfica de barras en función de la densidad de sags durante los 4 meses.



### **3.17 Conclusiones**

En el análisis de los eventos que se presentaron durante el tiempo que el alimentador de distribución se estuvo monitoreando, se concluye que los eventos presentados en un circuito de distribución son principalmente sags de voltaje e impulsos transitorios.

Se pudo observar que la forma de onda del voltaje por lo general presentaba una forma sinusoidal, la cual solo se distorsionaba al momento de que existía algún fenómeno, caso contrario con las corrientes que por lo general presentaban muchas variaciones, o no tenían una forma de onda sinusoidal.

Del total de 42 fenómenos presentados, se tiene que el 45.23% es de impulsos transitorios, el 42.85% de sags instantáneos, el 7.14% de sags momentáneos y el 4.76% de sags temporales.

# Capítulo 4

## Conclusiones

En éste capítulo se presentan las conclusiones obtenidas al ser realizado este documento de tesis, así como algunos trabajos futuro.

### 4.1 Conclusiones generales

En un contexto general, los sistemas eléctricos de distribución son relativamente confiables, pero debido a la naturaleza física de las redes y las cargas conocidas como cargas sensibles, hacen que estos sistemas pierdan esa confiabilidad. Por ello es necesario realizar el estudio de calidad de la energía en los sistemas eléctricos para así, de esta manera poder dar soluciones a los problemas que pueden causar la deficiencia del mismo.

Se puede mencionar que los eventos referentes a calidad de la energía mayormente presentados en un sistema de distribución son: transitorios y variaciones de corta duración.

Como se vio en los resultados del capítulo 3 la mayoría de los eventos fueron de corta duración, esto tiene que ver en mucho a la activación del elemento de protección 50 y por otro lado, puede ser que algunas fallas hayan sido autoextinguidas.

En ésta área el ingeniero electricista tiene mucho por aprender y de la misma manera, mucho por aportar. Ya sea en el diseño de mejores sistemas eléctricos, mejores protecciones o simplemente mejores aparatos que no generen tanta carga no lineal.

Con la presencia de los fenómenos reportados se puede deducir que en la gran mayoría los sistemas eléctricos existen problemas con la calidad de la energía, por lo cual hay que hacer varios estudios para protegerlos de una mejor manera ó analizar si estas mejoras son económicamente factibles o redituables, ya que existe muchos casos en los cuales las cargas que alimentan ciertos circuitos no tienen la necesidad de una calidad muy exigente y por lo tanto la mejora de los sistemas no sería económicamente factible.

## **4.2 Trabajos futuros**

Sería importante hacer el monitoreo durante un tiempo más prolongado, ya sea un año completo o dos, porque aun y cuando la época de lluvias es la temporada en la que se presentan mas fenómenos, es importante analizar la calidad de la energía durante todo el tiempo que se le esta entregando a los usuarios finales.

Otro enfoque consistiría en no solo analizar la calidad de la energía que entrega una subestación, sino que está monitoreando la energía eléctrica en varias subestaciones cercanas e interconectadas.

Sería también importante utilizar otro equipo de monitoreo de calidad de la energía que tenga una velocidad de muestreo mas rápida y con mayor capacidad, ya que al realizar el análisis de los transitorios se encontraron varias deficiencias del instrumento utilizado.

Otro posible trabajo futuro sería el comparar que se halla existido iniciación de la cuenta de tiempo en los relevadores con los que esta protegida la subestación.

De acuerdo a que se grabaron demasiados archivos sin evento alguno, sería conveniente el desarrollo de un software para la eliminación de estos archivos basura.

# Apéndices

# Apéndice A

## Parámetros del PP1

### **WARNING**

*Death, serious injury, or fire hazard could result from improper connection of this instrument. Read and understand this manual before connecting this instrument. Follow all installation and operating instructions while using this instrument.*

*Connection of this instrument must be performed in compliance with the National Electrical Code (ANSI/NFPA 70-1996) of USA and any additional safety requirements applicable to your installation.*

*Installation, operation, and maintenance of this instrument must be performed by qualified personnel only. The National Electrical Code defines a qualified person as “one familiar with the construction and operation of the equipment and the hazards involved.”*

## Power Platform® PP1 & PP1E

### TASKCard® - PQPLUS

## OPERATOR'S MANUAL

Revision A  
April 15, 1997



DRANETZ-BMI  
1000 New Durham Road  
Edison, New Jersey 08818-4019

Part Number OM-PP1-TASK-PQPLUS

## Measured Parameters

---

<b>Voltage</b>	Four fully differential voltage channels. <u>Channels A,B,C range:</u> 10-600 Vrms max <u>Channel D low range:</u> 1-60 Vrms max <u>Channel D high range:</u> 10-600 Vrms max <u>Crest factor:</u> Maximum of 2 at full scale <u>Accuracy:</u> $\pm 0.5\%$ of reading $\pm 0.05\%$ full scale
<b>Voltage</b>	Channels A,B,C range: 50-6000 Vpk
<b>Transients</b>	Channel D low range: 5-600 Vpk Channel D high range: 50-6000 Vpk Frequency response: Typically -4dB at $1\mu\text{s}$ for half sine wave pulse Accuracy: $\pm 10\%$ of reading $\pm 1\%$ full scale for half sine wave pulses $\geq 10\mu\text{s}$ Transient duration: 1 $\mu\text{sec}$ minimum
<b>Current</b>	Four independent current input channels. <u>Channels A,B, C range:</u> 10%-200% of full scale CT rating <u>Channel D range:</u> 2%-100% of full scale CT rating <u>Channels A,B,C crest factor:</u> Maximum of 3 at full scale <u>Channel D crest factor:</u> Maximum of 2 at full scale <u>Accuracy:</u> $\pm 0.5\%$ of reading $\pm 0.05\%$ of full scale, at fundamental frequency, using Dranetz CT-10, CT-150, CT-300, CT-1000, CT-3000 probes only.

---

*Continued on next page*

## Measured Parameters, Continued

---

**Current transients**      Channels A,B,C range: 10%-300% CT full scale  
Channel D range: 2%-200% CT full scale  
Frequency Response: Typically -4dB at 1 $\mu$ s for half sine wave pulses plus probe.  
Accuracy:  $\pm 10\%$  of reading  $\pm 1\%$  FS for half sine wave pulses  $\geq 10\mu$ s plus probe.  
Transient Duration: 1  $\mu$ sec minimum

---

**Phase**      Each voltage/current pair (i.e. Channel A voltage, Channel A current) are sampled simultaneously to preserve phase relationship.

---

**Input resistance**      Voltage input: 8 Mohms  
Current input: 200 kohms

---

**Frequency**      Fundamental range: 30Hz - 450Hz  
Accuracy:  $\pm 0.2\%$  of reading

---

**Environmental** All specifications are met at 25 degrees Celsius (77° F)

Temperature coefficient for measured parameters is approximately 200 ppm of full scale per degree Celsius.

---

## Computed Parameters

---

**Update rate** All parameters (except harmonic) are updated once per second. Harmonic based parameters are updated every 5 seconds.

---

**ABC volts** Calculated as the geometric mean of the three phases. See note.

$$V_{ABC} = \sqrt{(V_A^2 + V_B^2 + V_C^2)/3}$$

---

**ABC amps** Calculated as the sum of the three phases. See note.

$$I_{ABC} = I_A + I_B + I_C$$

---

**Real power** Single Phase: Average of instantaneous power samples taken as the product of voltage and current samples. Includes sign to indicate direction of power flow: + from source to load, - from load to source.

$$W = (1/N) \sum_{n=1}^N V_n I_n$$

Three Phase: Calculated as the sum of the three phases. Includes sign to indicate direction of power flow: + from source to load, - from load to source. See note.

$$W_{ABC} = W_A + W_B + W_C$$

Accuracy:  $\pm 2\%$  of reading  $\pm 0.2\%$  of full scale at fundamental frequency.

---

**Note** All totals (ABC) numbers are not 3 phase. They are based on the wiring configuration, which can have single phase, split phase, wye or delta phase. Totals are based on N phases for calculations.

---

*Continued on next page*



## Computed Parameters, Continued

---

**Apparent** Single Phase: Calculated as volts RMS times amps RMS.

**power**  $VA = V_{rms} \cdot I_{rms}$

Three Phase: Calculated as vector sum of VAR<sub>ABC</sub> and W<sub>ABC</sub>. Includes sign to indicate direction of power flow: + from source to load, - from load to source.

$$VA_{ABC} = \sqrt{VAR_{ABC}^2 + W_{ABC}^2}$$

Accuracy: ±2% of reading ±0.2% of full scale at fundamental frequency.

---

**Power factor** Calculated as real power divided by apparent power. Includes sign to indicate leading or lagging load current.

$$PF = W / VA$$

Accuracy: ± 0.05 typical

---

**Reactive power** Single Phase: Calculated as vector difference between VA and W. Includes sign to indicate direction of power flow: + from source to load, - from load to source.

$$VAR = \sqrt{(VA)^2 - W^2}$$

Three Phase: Calculated as the sum of the three phases. Includes sign to indicate direction.

$$VAR_{ABC} = VAR_A + VAR_B + VAR_C$$

Accuracy: ±2% of reading, ±0.2% of full scale at power factor = 1.

---

**Environmental** All specifications are met at 25 degrees Celsius.

Temperature coefficient for computed parameters is approximately 400 ppm of full scale per degree Celsius.

---

## Apéndice B

# Configuración del instrumento

### 3-Phase Wye 120 Volt

Parameter	Ch A	Ch B	Ch C	Ch D	Wave	All Chan
V HIGH LIM	127.0	127.0	127.0	5.0	Off	Off
V LOW LIM	105.0	105.0	105.0	0.0	Off	Off
V TRANSIENT	100.0	100.0	100.0	25.0	On	On
V THD%	5.0	5.0	5.0	Off	On	On
V FRQ HZ	0.5	0.5	0.5	Off	Off	Off
I HIGH RMS	Off	Off	Off	Off	Off	Off
I LOW RMS	Off	Off	Off	Off	Off	Off
I PEAK	Off	Off	Off	Off	Off	Off
I THD %	010	010	010	Off	On	Off
I TRANSIENT	Off	Off	Off	Off	Off	Off
WATTS HIGH LIM	Off	Off	Off	Off	Off	Off
VA HIGH LIM	Off	Off	Off	Off	Off	Off
VAR HIGH LIM	Off	Off	Off	Off	Off	Off
PF LOW LIM	0.8	0.8	0.80	Off	Off	Off
V SENS OUT LIM	5.0	5.0	5.0	2.0	Off	Off
V SENS IN LIM	5.0	5.0	5.0	Off	Off	Off
I SENS OUT LIM	Off	Off	Off	Off	Off	Off
I SENS IN LIM	Off	Off	Off	Off	Off	Off
V TRANS % SENS	150.0	150.0	150.0	150.0	Off	Off
I TRANS % SENS	150.0	150.0	150.0	150.0	Off	Off
#3 V HARM %	5.0	5.0	5.0	Off	On	On
#3 I HARM %	10.0	10.0	10.0	Off	On	Off

Actual instrument configuration at 27/07/2004 22:05:41

---

---

SYSTEM ID:

---

---

Instrumente id = MODEL PQPLUS  
Database id = V3.20  
Language = 0  
Site id = LABORATO/LABORATO

---

---

INSTRUMENT PQ CONFIG:

---

---

Number of cycles for pretrigger = 1  
Number of cycles for posttrigger = 1

CH AV :

RMS hysteresis = 5.0 V  
Sag/swell timeout = 30000 ms  
Rel imp. cycles timeout = 10 ms  
Rel cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Peak imp. cycles timeout = 10 ms  
Peak cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Crest hysteresis = 0.5 V  
Period hysteresis = 0.5 V

CH AI :

RMS hysteresis = 5.0 A  
Sag/swell timeout = -1 ms  
Rel imp. cycles timeout = 10 ms  
Rel cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Peak imp. cycles timeout = 10 ms  
Peak cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Crest hysteresis = 0.5 A  
Period hysteresis = 0.5 A

CH BV :

RMS hysteresis = 5.0 V  
Sag/swell timeout = 30000 ms  
Rel imp. cycles timeout = 10 ms  
Rel cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Peak imp. cycles timeout = 10 ms  
Peak cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Crest hysteresis = 0.5 V  
Period hysteresis = 0.5 V

CH BI :

RMS hysteresis = 5.0 A  
Sag/swell timeout = -1 ms  
Rel imp. cycles timeout = 10 ms  
Rel cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Peak imp. cycles timeout = 10 ms  
Peak cycles ret. to normal timeout = 2 ms  
Crest hysteresis = 0.5 A  
Period hysteresis = 0.5 A

CH CV :

RMS hysteresis = 5.0 V  
Sag/swell timeout = 30000 ms  
Rel imp. cycles timeout = 10 ms  
Rel cycles ret. to normal timeout = 2 ms

Peak imp. cycles timeout	= 10 ms
Peak cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Crest hysteresis	= 0.5 V
Period hysteresis	= 0.5 V
CH CI :	
RMS hysteresis	= 5.0 A
Sag/swell timeout	= -1 ms
Rel imp. cycles timeout	= 10 ms
Rel cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Peak imp. cycles timeout	= 10 ms
Peak cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Crest hysteresis	= 0.5 A
Period hysteresis	= 0.5 A
CH DV :	
RMS hysteresis	= 5.0 V
Sag/swell timeout	= 30000 ms
Rel imp. cycles timeout	= 10 ms
Rel cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Peak imp. cycles timeout	= 10 ms
Peak cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Crest hysteresis	= 0.5 V
Period hysteresis	= 0.5 V
CH DI :	
RMS hysteresis	= 5.0 A
Sag/swell timeout	= -1 ms
Rel imp. cycles timeout	= 10 ms
Rel cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Peak imp. cycles timeout	= 10 ms
Peak cycles ret. to normal timeout	= 2 ms
Crest hysteresis	= 0.5 A
Period hysteresis	= 0.5 A

---



---

TIME AND DATE:

---



---

Old time = 27/07/2004 14:29:59,9  
New time = 27/07/2004 14:29:59,9

---



---

EVENT MEMORY CONFIG:

---



---

Memory card auto transfer = ON  
Memory type = OVERWRITE

---



---

REDIRECT ERROR MESSAGES CONFIG:

---



---

Redirection change of :

---



---

ANALOG INPUT CONFIG:

---



---

Active inputs = AI (D range=high)  
Input configuration = SINGLE PHASE  
Enabled channels = AV AI BV BI CV CI  
Channel D = OFF

Frequency = 60.0  
 Frequency sync. mode = EXTERNAL  
 CH AV K-FACTORS :  
     Internal = 0.607143  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.607143  
     Final peak K-factor = 3.011000  
 CH AI K-FACTORS :  
     Internal = 0.004079  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.004079  
     Final peak K-factor = 0.004862  
 CH BV K-FACTORS :  
     Internal = 0.607666  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.607666  
     Final peak K-factor = 3.012831  
 CH BI K-FACTORS :  
     Internal = 0.004088  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.004088  
     Final peak K-factor = 0.004862  
 CH CV K-FACTORS :  
     Internal = 0.607081  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.607081  
     Final peak K-factor = 3.011709  
 CH CI K-FACTORS :  
     Internal = 0.004072  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.004072  
     Final peak K-factor = 0.004862  
 CH DV K-FACTORS :  
     Internal = 0.605972  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.605972  
     Final peak K-factor = 3.000368  
 CH DI K-FACTORS :  
     Internal = 0.000000  
     Scale = 1.000000  
     Final K-factor = 0.000000  
     Final peak K-factor = 0.000000

---



---

DIGITAL INPUT CONFIG:

---



---

Digital input #1 = NOT USED  
 Digital input #2 = NOT USED  
 Digital input #3 = NOT USED  
 Digital input #4 = NOT USED

---



---

RS232 CONFIG:

---



---

Baudrate = 9600  
 Auto baud = OFF

Rings bef. answer = 2  
Parity = NONE  
Protocol = TERMINAL  
Flow control = SOFTWARE  
Stopbits = 1  
Header = ATQ0V0X4S7=60S9=10S10=5&K0

---

---

MODEM/FAX CONFIG:

---

---

Baudrate = 2400  
Auto baud = ON  
Dial attempts = 10  
Rings before answer = 2  
Parity = NONE  
Protocol = ASCII  
Flow control = HARDWARE  
Stopbits = 1  
Header = ATQ0V0X4S7=60S9=10S10=5  
Phone number = 1-732-2878874  
Fax number = 1-732-2481834

---

---

PARALLEL PORT CONFIG:

---

---

Printer state = OFF  
Printer type = NULL

---

---

RELAY CONFIG:

---

---

Relay #1 state = 1, status= 0  
Relay #2 state = 1, status= 0  
Relay #3 state = 1, status= 0  
Relay #4 state = 1, status= 0

---

---

OTHER DEVICES CONFIG:

---

---

Backlight status = OFF  
Printer = ON  
Printer battery = TIME LIMIT  
Audible alarm = OFF  
LCD display = NORMAL

---

---

THRESHOLD CONFIG:

---

---

Active setup = 0  
Edit id name = SINGLE-PHASE 120 VOLT W/N-G  
THRESHOLD SETUP :

	A	B	C	D
V HIGH RMS LIMIT		127.000	127.000	127.000 5.000
V LOW RMS LIMIT		105.000	127.000	127.000 0.000
V TRANSIENT MAGNITUDE		100.000	100.000	100.000 25.000
V THD PERCENT LIMIT		5.000	5.000	5.000 5.000
V FREQ HZ SENSITIVITY		0.500	0.500	0.500 0.500

I HIGH RMS LIMIT		30.000	30.000	30.000	30.000
I LOW RMS LIMIT		10.000	10.000	10.000	10.000
I PEAK LIMIT	0.000	0.000	0.000	0.000	
I THD PERCENT LIMIT	0.000	0.000	0.000	0.000	
I TRANSIENT MAGNITUDE		0.000	0.000	0.000	0.000
WATTS HIGH LIMIT		0.000	0.000	0.000	0.000
VA HIGH LIMIT		0.000	0.000	0.000	0.000
VAR HIGH LIMIT		0.000	0.000	0.000	0.000
PF LOW LIMIT	0.000	0.000	0.000	0.000	
V SENS OUT LIMIT		3.000	3.000	3.000	2.000
V SENS IN LIMIT		5.000	5.000	5.000	5.000
I SENS OUT LIMIT		0.000	0.000	0.000	0.000
I SENS IN LIMIT		0.000	0.000	0.000	0.000
V TRANS PERCENT SENS		150.000	150.000	150.000	150.000
I TRANS PERCENT SENS		0.000	0.000	0.000	0.000
V HARMONIC PERCENT		5.000	5.000	5.000	5.000
I HARMONIC PERCENT		10.000	10.000	10.000	10.000

WAVE CAPTURE STATUS :

V HIGH RMS LIMIT	OFF
V LOW RMS LIMIT	OFF
V TRANSIENT MAGNITUDE	ON_ALL
V THD PERCENT LIMIT	ON_ALL
V FREQ HZ SENSITIVITY	OFF
I HIGH RMS LIMIT	OFF
I LOW RMS LIMIT	OFF
I PEAK LIMIT	OFF
I THD PERCENT LIMIT	OFF
I TRANSIENT MAGNITUDE	OFF
WATTS HIGH LIMIT	OFF
VA HIGH LIMIT	OFF
VAR HIGH LIMIT	OFF
PF LOW LIMIT	OFF
V SENS OUT LIMIT	ON_ALL
V SENS IN LIMIT	OFF
I SENS OUT LIMIT	OFF
I SENS IN LIMIT	OFF
V TRANS PERCENT SENS	OFF
I TRANS PERCENT SENS	OFF
V HARMONIC PERCENT	ON_TRIG
I HARMONIC PERCENT	ON_TRIG

PARAMETER STATUS :

	A	B	C	D	
V HIGH RMS LIMIT		ON	OFF	OFF	ON
V LOW RMS LIMIT		ON	OFF	OFF	OFF
V TRANSIENT MAGNITUDE		ON	OFF	OFF	ON
V THD PERCENT LIMIT		ON	OFF	OFF	OFF
V FREQ HZ SENSITIVITY		ON	OFF	OFF	OFF
I HIGH RMS LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
I LOW RMS LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
I PEAK LIMIT	OFF	OFF	OFF	OFF	
I THD PERCENT LIMIT	OFF	OFF	OFF	OFF	
I TRANSIENT MAGNITUDE		OFF	OFF	OFF	OFF
WATTS HIGH LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
VA HIGH LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
VAR HIGH LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF

PF LOW LIMIT	OFF	OFF	OFF	OFF	
V SENS OUT LIMIT		ON	OFF	OFF	ON
V SENS IN LIMIT		ON	OFF	OFF	OFF
I SENS OUT LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
I SENS IN LIMIT		OFF	OFF	OFF	OFF
V TRANS PERCENT SENS		ON	OFF	OFF	ON
I TRANS PERCENT SENS		OFF	OFF	OFF	OFF
V HARMONIC PERCENT		ON	OFF	OFF	OFF
I HARMONIC PERCENT		ON	OFF	OFF	OFF

V harmonic number =3  
I harmonic number =3  
Easy start nominal voltage = 120.000  
Easy start nominal current= 30.000  
Easy start percent tolerance = 0.000  
Monitor current = ON

---



---

INTERVAL FOR TIMED READINGS:

---



---

Interval = 5 seconds

---



---

AUTOMATIC REPORTS:

---



---

OFF at device PRINTER, trigger = DIGITAL INPUT, report number = 7

- #0 ANALOG PLOT on CHA for KFACTOR
- #1 ANALOG PLOT on CHA for IRMS
- #2 ANALOG PLOT on CHA for KFACTOR
- #3 DIGITAL PLOT on CHA for VRMS
- #4 RELAY on CHA for VRMS
- #5 WORSE CASE on CHA for VRMS
- #6 ANALOG PLOT on CHA for VUNBAL

---



---

MONITORING STATUS:

---



---

Monitoring = OFF  
Source = EASY START



# Bibliografía

[ANSI 1982]

ANSI Standard C84.1-1982, *American National Standard for Electric Power Systems and Equipment- Voltage Ratings (60Hz)*, 1982.

[Bollen 2000]

Bollen, Math H. J, *Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions*, New York: IEEE Press series on power engineering, 2000.

[Dugan et al. 1996]

Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, *Electrical Power System Quality*, New York: Edit McGraw Hill, 1996.

[Drand-View 1998]

DRAND-VIEW® Pro, User's Guide, Junio 1998.

[ECM 1992]

UIE-DWG-3-92-G, *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations – Part 1: General Introduction to Electromagnetic Compatibility (ECM), Types of Disturbances and Relevant Standards*, Advanced UIE Edition, “Disturbances” Working Group GT 2.

[EnerNex 2006]

EnerNex Corporation, Staff Bios, 11 de junio de 2006,  
<http://www.enernex.com/staff/jeff/index.html>

[IEC 1991]

IEC TC77WG6 (secretary) 110-R5, *Draft Classification of Electromagnetic Environments*, Enero 1991.

[IEEE Std 519 1992]

IEEE Std 519-1992, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, Aprobado Junio 18, 1992.

[IEEE P1159 1994]

IEEE P1159, *Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality*, Working Group on Monitoring Electrical Power Quality of SCC22-Power Quality, 6 November 1994.

[Irwin 1997]

J. David Irwin, *Análisis Básico de Circuitos en Ingeniería*, Editorial Prentice Hall, Quinta Edición, 1997.

[Kennedy 2000]

Barry Kennedy, *Power Quality Primer*, New York: Editorial McGraw Hill, Primer series, 2000.

[Lamoree et al. 1993]

J. Lamoree, D. Mueller, P. Mueller y W. Jones, “Voltage Sags Analysis Case Studies”, in *Proceedings of the 1993 IEEE I&CPS Conference*, St. Petersburg, Fla.

[Power Platform PP1 1997]

Power Platform® PP1 & PP1E, TASK Card® - PQPLUS, Operator's Manual, Revision A, 15 de Abril, 1997.

[UIE 1992]

UIE-DWG-2-92-D, *UIE Guide to Measurements of Voltage Dips and Short Interruptions Occurring in Industrial Installations*, 1992.