

**ESTUDIO DE LAS EXPLOSIONES DE EQUIPOS DE PATIO EN LA CENTRAL  
TERMOFLORES**

**KAREM CATALINA TOUS SHAIKH**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

**2007**

**ESTUDIO DE LAS EXPLOSIONES DE EQUIPOS DE PATIO EN LA CENTRAL  
TERMOFLORES**

**KAREM CATALINA TOUS SHAIKH**

**Tesis de grado, presentada para optar al título de  
Ingeniera Electricista**

**Director**

**ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO  
Ingeniero Electricista**

**Codirector**

**Msc. JORGE ENRIQUE GÓMEZ CASTRO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

**2007**

## **Artículo 107**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad de los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Ing. Enrique Vanegas Casadiego**  
**Director de Tesis**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Cartagena D.T. y C, Mayo de 2007

Cartagena D. T. Y C., Mayo de 2007

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención me dirijo a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación de la Tesis de Grado titulada ESTUDIO DE LAS EXPLOSIONES DE EQUIPOS DE PATIO EN LA CENTRAL TERMOFLORES como requisito parcial para optar al título de ingeniera electricista.

Atentamente

---

KAREM CATALINA TOUS SHAIKH

Cartagena D. T. Y C., Mayo de 2007

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la Tesis de Grado titulada ESTUDIO DE LAS EXPLOSIONES DE EQUIPOS DE PATIO EN LA CENTRAL TERMOFLORES para su estudio y evaluación la cual fue realizada por la estudiante KAREM CATALINA TOUS SHAIKH, de la cual acepto ser su director.

Atentamente,

---

ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO

Ingeniero Electricista

## **AUTORIZACIÓN**

Yo KAREM CATALINA TOUS SHAIKH, identificado con la cedula de ciudadanía número 45.556.564 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on-line de la biblioteca

---

KAREM CATALINA TOUS SHAIKH

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	14
1. MARCO REFERENCIAL .....	17
1.1. TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	18
1.1.1. Transitorios de Impulso .....	18
1.1.2. Transitorio oscilatorio .....	19
1.2. VARIACIÓN DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN .....	20
1.2.1. Caídas de Tensión. ....	20
1.2.2. Aumentos de tensión.....	21
1.3. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN .....	22
1.3.1.a. Sobretensiones.....	22
1.3.2. Subtensiones.....	23
1.3.3. Interrupciones Sostenidas .....	24
1.4. DISTORSIÓN DE LA FORMA DE LA SEÑAL .....	25
1.4.1. Referencia DC .....	25
1.4.2. Armónicos .....	26
1.4.3. Interarmónicos.....	28
1.4.4. Muestras .....	28
1.4.5. Ruido .....	29
1.5. FLUCTUACIONES DE TENSIÓN. ....	30
2. METODOLOGIA DEL ESTUDIO .....	31
3. ANALISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....	50
3.1. EVENTOS DE TENSIÓN. ....	51
3.2. NÚMERO Y DURACIÓN DE INTERRUPCIONES Y DESVIACIONES ESTACIONARIAS.....	52
3.3. INDICADOR PST.....	52
3.4. DESBALANCE DE FASES (V2/V1). ....	52
3.5. TENSIÓN EN CADA FASE Y DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)...	53
3.6. ARMONICOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE.....	53



3.7.	REPORTE DE HUNDIMIENTOS Y OTROS EVENTOS.....	54
3.8.	ESTUDIO ELECTRICO DE LA ZONA EN DIGSILENT.....	54
3.8.1.	ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO Y CONTINGENCIAS.....	57
3.8.2.	ANÁLISIS DEL VOLTAJE ESTACIONARIO: .....	60
3.9.	INSPECCIÓN FISICA DE CAMPO DE EQUIPOS Y MALLA DE PUESTA A TIERRA.....	61
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	70
	ANEXOS.....	72

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Eventos de Tensión de Corta Duración. ....	52
Tabla 2. Eventos de PST .....	52
Tabla 3. Resultados de Demandas Máxima, Media Y Mínima .....	57
Tabla 4. Corriente Máxima para falla en Barra de FLORES 110kV .....	59
Tabla 5. Resumen De Demandas De FLORES I .....	60
Tabla 6. Resumen De Tensiones Máximas, Medias Y Mínimas En Cada Circuito De Termoflores .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transitorio De Impulso [1].....	19
Figura 2. Transitorio De Oscilatorio [1] .....	20
Figura 3. Sobretensiones [2].....	23
Figura 4. Subtensiones [2] .....	23
Figura 5. Interrupciones Sostenidas [2] .....	24
Figura 6. DISTORSIÓN DE LA ONDA [2].....	25
Figura 7. Armónicos De Tensión [2].....	27
Figura 8. Muesca En La Onda De Señal [2] .....	28
Figura 9. Ruido En La Onda De Señal [2].....	29
Figura 10. Evento de Tensión Transitoria [3] .....	34
Figura 11. Duración de Interrupciones y Número de Interrupciones [3].....	35
Figura 12. Duración de Desviaciones [3] .....	36
Figura 13. Indicador de PST [3].....	37
Figura 14. Indicador de Desbalance de Fases [3].....	38
Figura 15. Tensión Promedio cada 10 Minutos [3].....	39
Figura 16. Distorsión Armónica de Voltaje (THDV) Promedio [3].....	40
Figura 17. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Promedio [3] .....	41
Figura 18. Armónicos de Voltaje .....	42
Figura 19. Armónicos de Corriente .....	42
Figura 20. Corriente cada 3 Segundos [3] .....	43
Figura 21. Falla Trifásica vista desde LN721 TFLORES-OASIS [3] .....	44
Figura 22. Hundimiento de Fase a por Evento Externo [3] .....	45
Figura 23. Hundimiento de Fase A a las 14:48 visto en LN721 [3] .....	46
Figura 24. Sobrecorriente vista en LN721 [3] .....	47
Figura 25. Diagrama Unifilar De Red Simulada [3] .....	56
Figura No. 26. Corrosión En Junta De Sellado [4] .....	62
Figuras 27. Corrosión En Junta De Sellados De TP'S Y TC'S [4].....	62
Figura 28. Oxidación En Área De Sellado [4] .....	63

Figura 29. Oxidación En Área De Sellado [4] .....	63
Figura 30. Oxidación En Área De Sellado En La Parte Donde Se Encontraba El Pasamuros [4].....	64
Figura 31. Acumulación De Sales En Superficie De Tapa De Porcelana [4] .....	64
Figura 32. Contaminacion En Superficie De Tapa De Aluminio De Los Módulos Capacitivos [4] .....	65
Figura 33. Contaminación En Parte Interna Del Modulo Capacitivo [4] .....	65
Figura 34. Contaminación Penetrada En La Parte Interna Del Modulo Capacitivo [4].....	66
Figura 35. Estructura de aislador tipo poste, patio de 220KV sin conexión a tierra [5].....	67
Figura 36. Conexión mecánica de conductor de tierra a estructura pintado en su totalidad [5] .....	68
Figura 37. Corrosión de conectores [5].....	68

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A1: RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR DE CALIDAD DE LA POTENCIA XM.....	72
ANEXO A2. NORMA IEEE 519-92 .....	78
ANEXO A3. NORMA IEEE Std 1159-1995.....	79
ANEXO A4. RETIE .....	80

## GLOSARIO

**DEMANDA DE ENERGÍA:** Carga en kWh solicitada a la fuente de suministro en el punto de recepción durante un período de tiempo determinado.

**DESBALANCE DE FASE:** Una condición en la cual las tres fases de tensión difieren en amplitud o se encuentran desplazadas de su ángulo de desfase característico de 120°, o en las dos condiciones. Frecuentemente se expresa como la relación entre la secuencia negativa o la secuencia cero de la tensión, sobre la secuencia positiva de tensión, expresada en porcentaje.

**EVENTO:** Es una manifestación o situación, producto de fenómenos naturales, técnicos o sociales que puede dar lugar a una emergencia.

**CONFIABILIDAD:** Capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para cumplir una función requerida, en unas condiciones y tiempos dados. Equivale a fiabilidad.

**CONTORNEO SUPERFICIAL:** Ruido característico que se presenta en los equipos eléctricos de patio debido a la contaminación de la loza o del aislador; conocido también como flameo.

**CORTOCIRCUITO:** Fenómeno eléctrico ocasionado por una unión accidental o intencional de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial de un mismo circuito.

**FALLA:** Degradación de componentes. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema, componente o persona, para cumplir una función requerida.

**RAG:** Rechazo automático de generación controla la sobrefrecuencia ante eventos que conduzcan a la separación de áreas con fuertes demandas por medio de relés de sobrefrecuencias.

**RECIERRE:** Practica común en líneas aéreas, consistente en el cierre del interruptor de una línea de transmisión o distribución después de despejada una falla tomando ventaja de que muchas de las fallas son transitorias o temporales.

**SOBRECORRIENTE:** Nivel de corriente mayor a la corriente de carga o nominal.

**TELEDISPARO:** Disparo de un interruptor o interruptores por señales emitidas desde una ubicación remota, independientemente del estado de la protección local. Existe también el Teledisparo Funcional lo cual es el disparo automático de un interruptor(es) para evitar que ocurran condiciones de red insatisfactorias como

sobretensión, sobrecarga, inestabilidad del sistema, etc. después del disparo de otros interruptores que sigue a una falla(s) en la red eléctrica.

**TRANSFORMADOR DE CORRIENTE:** Instrumento cuya función es cambiar el valor de la corriente de uno más o menos elevado a otro con el cual se puedan alimentar instrumentos de medición, control o protección.

**TRANSFORMADOR DE POTENCIAL:** Instrumento cuya función es transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente; además, sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieran señales de voltaje.

**VOLTAJE RESIDUAL:** Componente en fase del voltaje de salida cero o nulo.

**ZONA 1:** Se refiere al ajuste de las protecciones de distancia, la cual usualmente se ajuste esta entre los valores del 80% y el 90% de la longitud de la línea que esta siendo protegida y cuando es detectada una falla en esta zona, la apertura es muy rápida (entre 80 y 100ms para alta tensión).

## 0. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como fin profundizar e indagar acerca de las causales de explosión de algunos equipos de patio (TP's y TC's), analizando tanto el entorno físico como el entorno metodológico del funcionamiento de estos mecanismos.

Para poder argumentar sobre este trabajo se hicieron diversas investigaciones de tipo teórico-practico basándose en las distintas experiencias ya dadas en materia de equipos de patio. En este proyecto se pretende ir más allá de la tesis teórica e introducir un material que argumente una verdadera razón por la cual se afecten los equipos de patio. Podemos entonces plantear una duda ¿será que aparte de las causas ambientales habrá otra causa diferente que afecte la normalidad de la operación en dichos equipos? He aquí el argumento valido de esta investigación todo el marco teórico esta basado en la calidad de la energía argumentando y sustentando mediante graficas e ilustraciones el comportamiento de la calidad de esta, entonces mediante estas ilustraciones, poder sacar una previa conclusión acerca de la influencia de la calidad de la energía en las alteraciones de los equipos de patio.

Podemos anotar que en este trabajo se encontrara una respuesta alternativa a uno de los problemas mas reiterativos en materia de energía, alternando así un respuesta para que sea utilizada en el conocimiento para solucionar fallas y salvar uno de los tesoros mas preciados como lo es la vida de los trabajadores, ofreciendo así un mejor suministro de energía

En esta tesis encontraran la razón que tanto podrían estar necesitando comunidades, en las cuales se presentan fallas como las antes mencionadas, colaborando así también con el bienestar de la sociedad y con las de más empresas que interactúan en materia de estudio calidad de la energía.



## 1. MARCO REFERENCIAL

Cuando se habla de CALIDAD DE LA ENERGÍA, se esta haciendo referencia a la calidad de las señales de tensión y corriente.

La creciente utilización de dispositivos basados en la microelectrónica, los cuales son cada vez mas susceptibles y menos inmunes al entorno electromagnético, ha incrementado en los últimos años el interés por las señales de corriente y tensión eléctrica; esto ha venido acompañado con el desarrollo de equipos de protección y una terminología especial para describir fenómenos.

Es así como el concepto de calidad de energía ha evolucionado en la última década a escala mundial. De hecho, se ha aumentado la importancia del suministro de energía eléctrica basada en criterios que van mas allá de la simple continuidad o confiabilidad del servicio, pasando a un espectro mucho mas amplio que tiene que ver con grandes desarrollo científicos y tecnológicos en los campos de la interferencia y la compatibilidad electromagnética.

La calidad de la energía eléctrica, es un conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente para un tiempo dado y en un espacio determinado, con el objetivo de satisfacer necesidades de un cliente.

Algunos autores consideran que la entidad a la cual se aplica el concepto de calidad de energía eléctrica es solamente la señal de tensión. Esto seria cierto si se considera un sistema eléctrico lineal en el cual el generador alimenta a una sola carga, mediante una fuente de tensión. Sin embargo, los sistemas eléctricos pueden ser enmallados y una carga (corriente) puede contaminar nuevamente la red de alimentación y esta a su vez alimentar a otra carga con una señal de tensión y corriente contaminada. Por ello lo mas conveniente es involucrar en la calidad de energía eléctrica tanto la fuente como a la carga, es decir la señales de corriente y tensión.

Las características físicas de la calidad de la energía eléctrica son:

La amplitud, frecuencia, forma de onda de las señales de tensión y corriente y la continuidad en el servicio eléctrico. La variación de estos factores o índices, pueden causar degradación, mal funcionamiento o fallas en dispositivos, equipos o sistemas eléctricos, electrónicos o de comunicación, que disminuyen la calidad de la energía eléctrica y afectan técnica y económicamente a los usuarios.

Es importante aclarar aquí que si bien la definición que se ha propuesto esta acorde con la argumentación presentada, la aplicación del concepto de calidad de energía eléctrica es relativa, depende de las necesidades del usuario. Por

ejemplo, para un usuario residencial urbano o rural la calidad de la energía eléctrica esta referida mas a la continuidad que a la calidad de señal, mientras que para un usuario industrial con equipos basados en microelectrónica la exigencia no es solo de calidad en la continuidad del servicio sino en las señales de tensión y corriente.

Las perturbaciones electromagnéticas afectan los parámetros sobre los cuales se basa el estudio de la calidad de la energía eléctrica, la amplitud, la forma de onda y la frecuencia, estas perturbaciones son de diferentes tipos y cada una tiene una forma característica para ser analizada. Los fenómenos que afectan la calidad de le energía eléctrica y en la cual vamos a basar nuestro estudio son los siguientes:

- ✚ **TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS**
- ✚ **VARIACIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN.**
- ✚ **VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN.**
- ✚ **DISTORSIÓN DE LA FORMA DE LA SEÑAL.**
- ✚ **FLUCTUACIONES DE TENSIÓN.**

### **1.1. TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS.**

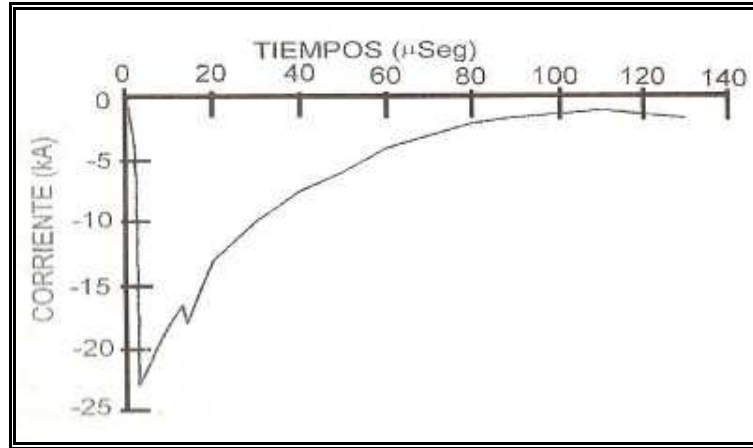
El término transitorio ha sido usado en el análisis de los sistemas de potencia, para indicar un evento que es indeseable y de naturaleza momentánea.

Como sinónimos de la palabra escuchamos comúnmente los términos pico o impulso de tensión. En una subestación eléctrica se pensará en un impulso de tensión o un pico debido al impacto de un rayo en el sistema, tormentas eléctricas o explosión de un transformador de distribución.

De una forma amplia y técnica, los transitorios electromagnéticos pueden ser clasificados en dos categorías: Transitorios de Impulso y Transitorios Oscilatorios.

- 1.1.1. Transitorios de Impulso:** Es una cambio súbito, de frecuencia de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas y es unidireccional (positiva o negativa). Los transitorios de Impulso son normalmente caracterizados por sus tiempos de subida o de frente y de cola.

**Figura 1. Transitorio De Impulso [1]**

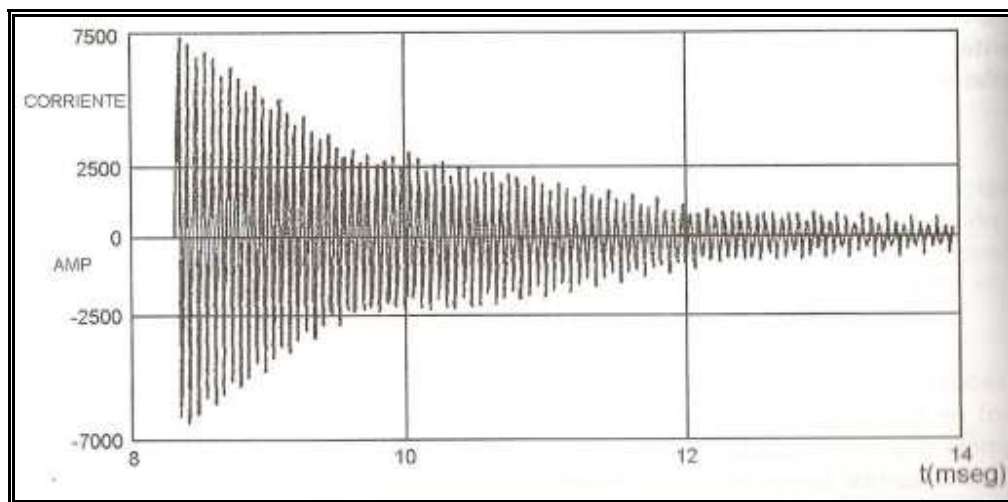


**1.1.2. Transitorio oscilatorio:** Es un cambio súbito de frecuencia no industrial, de la condición de estado estacionario de tensión, corriente, o ambas, que incluye tanto valores positivos como negativos. El transitorio oscilatorio consiste de una tensión o corriente cuyos valores instantáneos cambian rápidamente de polaridad. Está descrito por su contenido espectral (predominantemente frecuencia), duración y magnitud. El contenido espectral se subdivide en altas, medias y bajas frecuencias.

Los transitorios oscilatorios de alta frecuencia y duración de microsegundos son frecuentemente el resultado de la respuesta de un sistema local a un transitorio de impulso.

Los transitorios oscilatorios de media frecuencia y duración de décimas de microsegundo pueden deberse a la maniobra de condensadores o pueden ser respuesta de un sistema a un transitorio de impulso. Los transitorios oscilatorios de baja frecuencia y duración de 0.3 a 50 ms se deben frecuentemente a la energización de banco de condensadores.

**Figura 2. Transitorio De Oscilatorio [1]**



## 1.2. VARIACIÓN DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN.

Las variaciones de tensiones de corta duración tienen su origen en condiciones de falla, la energización de grandes cargas que requieren grandes corrientes de arranque o conexiones inestables en cables de potencia. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema, la falla puede causar: Caídas de tensión, aumentos de tensión e Interrupciones o pérdidas completa de tensión.

La condición de falla puede estar cerca o lejos del punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre la duración de la tensión, durante la condición de falla es de corta duración, hasta que el equipo de protección opere para aclarar la falla.

**1.2.1. Caídas de Tensión.** Es un decrecimiento entre 0.1 y 0.9 p.u. en tensión o corriente RMS a frecuencia industrial, con duración entre 0.5 ciclos y un minuto. Las caídas son generalmente asociadas a fallas en el sistema, pero pueden también ser causadas por energización de grandes cargas o arranque de grandes motores.

Las subtensiones que caen menos de medio ciclo no pueden ser caracterizadas efectivamente como un cambio en el valor RMS del valor de frecuencia fundamental; entonces, estos eventos son considerados transitorios. Las subtensiones que caen más de un minuto pueden ser controladas por equipo reguladores de tensión y pueden estar asociadas con causas diferentes a fallas en el sistema. Entonces, estas se clasifican como variación de tensión de larga duración.

La duración de una caída se subdivide en tres categorías, que coinciden con las tres categorías de subida e interrupciones de tensión:

- ✚ Instantáneas (Duración entre medio ciclo hasta 30 ciclos de la onda fundamental).
- ✚ Momentáneas (Duración entre 30 ciclos de la onda fundamental hasta 3 segundos).
- ✚ Temporales (Duración entre 3 segundos hasta 1 minuto).

Se considera que estas duraciones corresponden al tiempo de operación de un equipo de protección típico, así como a la duración recomendada por organizaciones técnicas internacionales.

**1.2.2. Aumentos de tensión:** Una subida se define como un incremento entre 1.1 y 1.8 p.u. en tensión o corriente RMS a frecuencia industrial para duraciones de 0.5 ciclos a un minuto.

Al igual que las caídas, las subidas están generalmente asociadas con condiciones de falla del sistema, pero ellas no son tan comunes como las caídas de tensión. Una forma en que una subida puede ocurrir por el aumento de una tensión temporal sobre las fases no falladas durante una falla fase – tierra.

Las subidas pueden también ser causadas por maniobras de apertura de grandes cargas o energización de grandes bancos de condensadores.

Las subidas se caracterizan por su magnitud y duración. La severidad de una subida de tensión durante una condición de falla es función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y la puesta a tierra.

El término de sobretensiones momentáneas es usado por muchos ingenieros como sinónimo del término subidas de tensión.

**1.2.3. Interrupciones y pérdida completa de tensión:** Una interrupción ocurre cuando la tensión de alimentación o la corriente de carga decrece a menos de 0.1 p.u. para un periodo de tiempo que no exceda el minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas en equipos o malas operaciones de control. Las interrupciones son medidas por su duración cuando la magnitud de tensión es siempre menor al 10% del nominal. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema de alimentación está determinada por el

tiempo de operación de los equipos de operación. Los recierres instantáneos generalmente limitan la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. El recierre retrasado del equipo puede causar una interrupción momentánea o temporal. La duración de una interrupción debida al mal funcionamiento o pérdida de conexiones puede considerarse irregular.

### 1.3. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN.

Las variaciones de tensión de larga duración corresponden a una desviación RMS a frecuencia industrial para tiempos mayores a un minuto. Las variaciones de tensión para larga duración pueden ser:

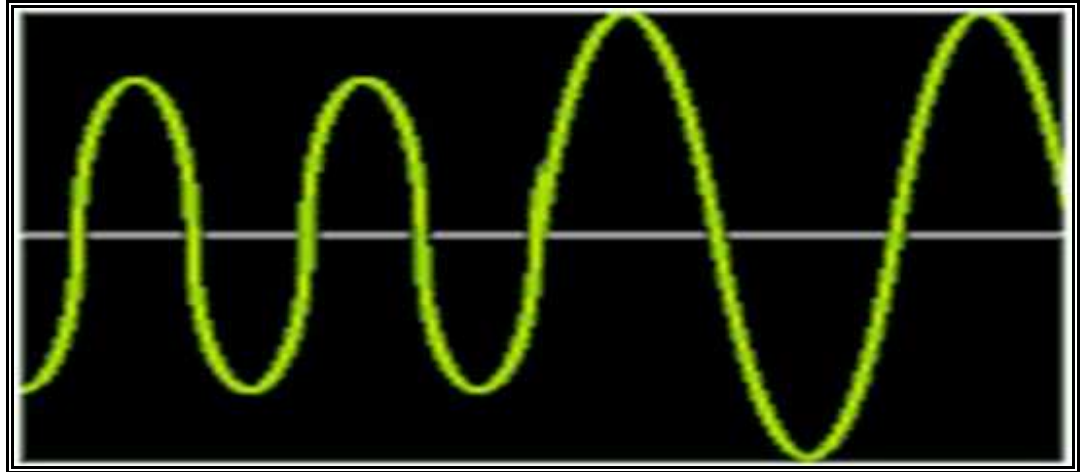
- ✚ **Sobretensiones.**
- ✚ **Subtensiones.**
- ✚ **Interrupciones sostenidas.**

Las sobretensiones y las subtensiones generalmente no son el resultado de fallas del sistema, sino que son causadas por variaciones de carga en el sistema y operaciones de maniobra del sistema.

- 1.3.1.a. Sobretensiones:** Una sobretensión o Swell es un incremento en la tensión RMS mayor de 110% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Las sobretensiones son generalmente el resultado de maniobras (por ejemplo, apertura de grandes cargas) o energización de bancos de condensadores. Las sobretensiones resultan porque el sistema es o muy débil para la regulación de tensión deseada, o por controles de tensión inadecuados. Una posición incorrecta del conmutador de un transformador puede dar como resultado un sistema con sobretensión.

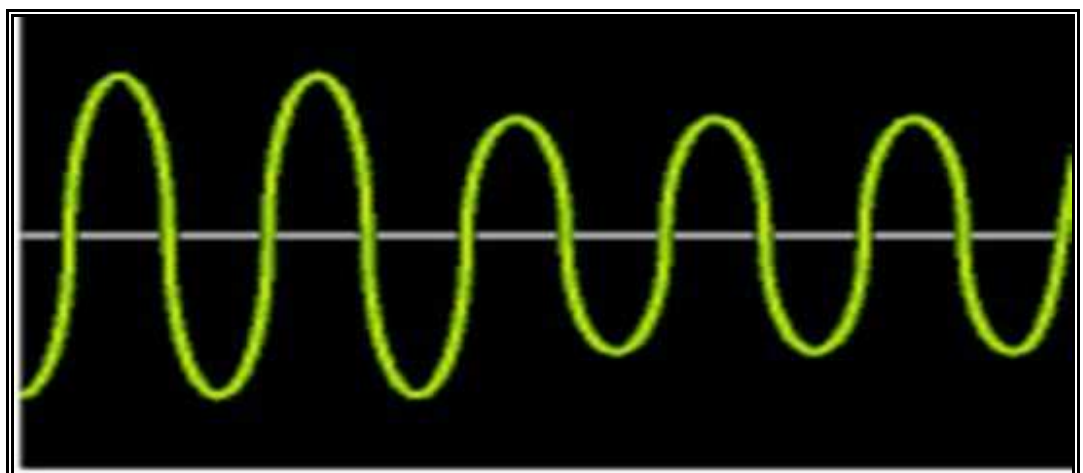
**Figura 3. Sobretensiones [2]**



**1.3.2. Subtensiones:** Una subtensión o Sags es un decrecimiento en la tensión RMS menor de 90% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Las subtensiones son el resultado de los eventos inversos que causan sobretensiones. El cierre de una carga o la apertura de un banco de condensadores pueden causar una subtensión hasta que el equipo regulador de tensión del sistema pueda ajustar la tensión dentro de los límites de tolerancia. Los circuitos sobrecargados y grandes cortocircuitos pueden también resultar en subtensiones.

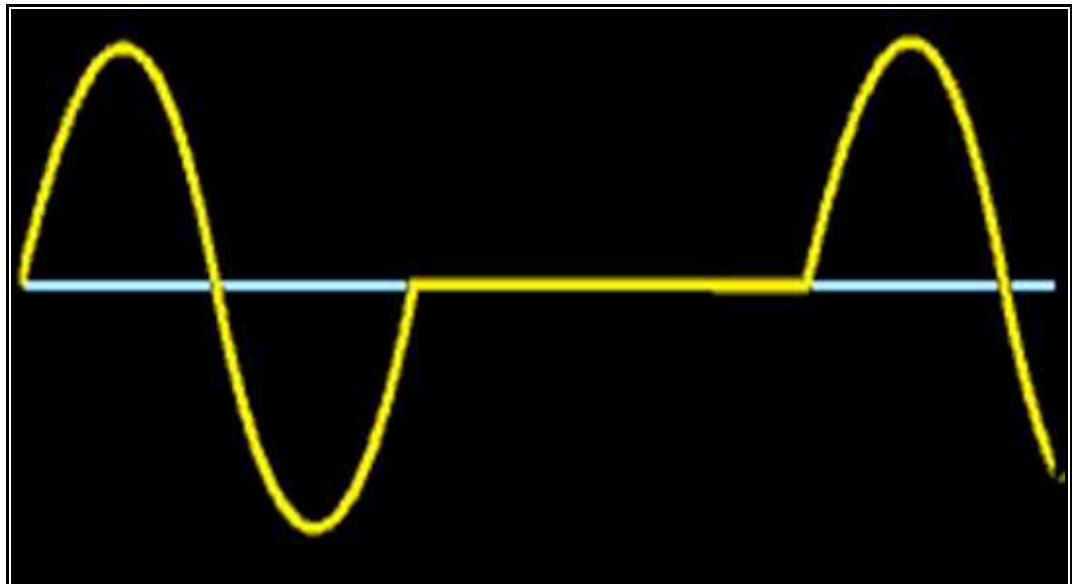
**Figura 4. Subtensiones [2]**



**1.3.3. Interrupciones Sostenidas:** Cuando la tensión de alimentación ha estado en cero por un período superior a un minuto, la Variación de Tensión de Larga Duración se considera como interrupción sostenida. Las interrupciones de tensión superiores a un minuto son frecuentemente permanentes y requieren intervención humana para restaurar el sistema. El término interrupción sostenida se refiere a fenómenos específicos en sistemas de potencia y en general no tienen relación con el término salida (outage en inglés).

Los operadores de red usan los términos salida (de operación) o interrupción para describir fenómenos de similar naturaleza para reportes de confiabilidad. Sin embargo, esto causa confusión para el usuario final, quien piensa en una salida como cualquier interrupción que pare un proceso. Esto sería menor a medio ciclo. Salida (outage) no se refiere a un fenómeno específico, sino al estado de un componente en un sistema que ha fallado en su función. Entonces, usar el término salida en el contexto de monitoreo de Calidad de la Energía Eléctrica no tiene relación con confiabilidad ni con otras estadísticas de continuidad de servicio. De esta manera, el término interrupción ha sido definido para ser más específico respecto a la ausencia de tensión por largos períodos.

**Figura 5. Interrupciones Sostenidas [2]**



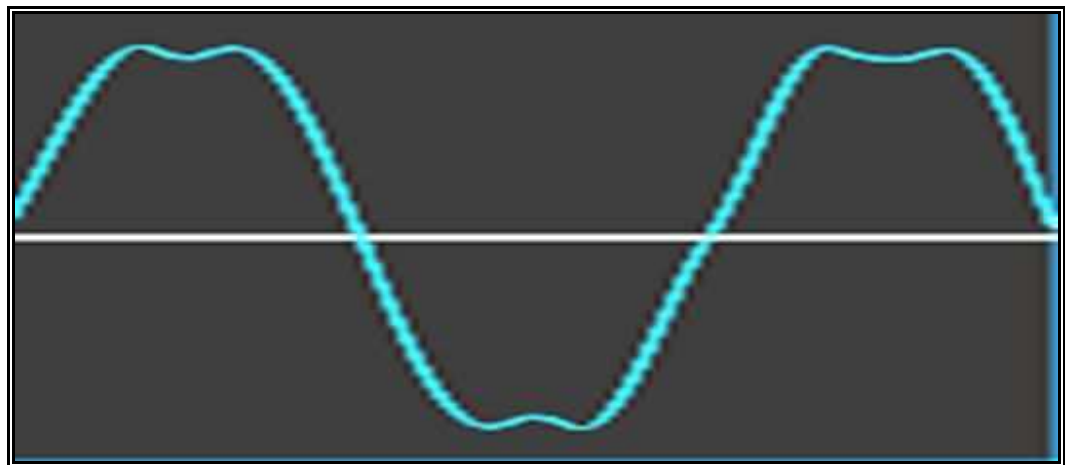


#### 1.4. DISTORSIÓN DE LA FORMA DE LA SEÑAL.

Se define como una desviación de estado estacionario de una onda sinusoidal de frecuencia industrial, principalmente caracterizada por el contenido espectral de la desviación. Existen cinco tipos de distorsión de forma de la señal:

- ✚ Referencia DC (DC Offset).
- ✚ Armónicos.
- ✚ Interarmónicos.
- ✚ Muestras.
- ✚ Ruido.

Figura 6. DISTORSIÓN DE LA ONDA [2]



**1.4.1. Referencia DC:** La presencia de una tensión o una corriente DC en un sistema de potencia AC se denomina referencia DC. Esto puede ocurrir como el resultado de una perturbación geomagnética o debido al efecto de rectificación de media onda.

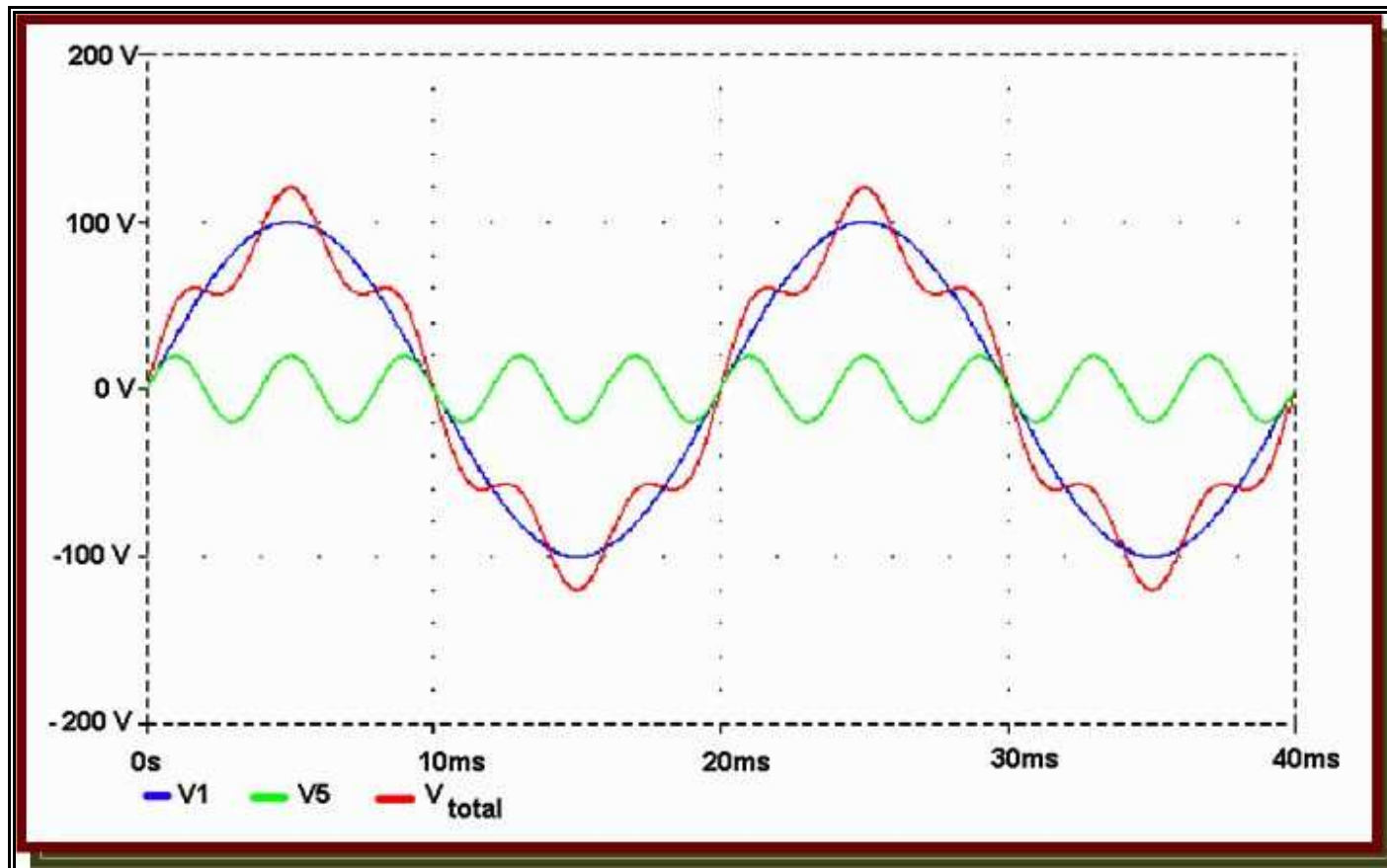
La corriente directa en redes de corriente alterna puede tener efectos negativos, por ejemplo, en los núcleos de los transformadores se puede saturar la operación normal, causando calentamiento adicional y pérdida de

vida del transformador. La DC también puede causar erosión electrolítica en electrodos de puesta a tierra y otros conductores.

**1.4.2. Armónicos:** Son tensiones o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la frecuencia fundamental y los armónicos, en otras palabras es la sobre posición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la potencia sobre la onda sinusoidal de la misma.

La distorsión armónica se origina en las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia ya que toman corrientes en pulsos. Estas corrientes de pulsos crean caídas de tensión en todo el sistema como resultado de la interacción de la corriente con la impedancia del sistema.

Figura 7. Armónicos De Tensión [2]



**1.4.3. Interarmónicos:** Son tensiones o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Ellos pueden aparecer como frecuencias discretas o como espectro de banda ancha.

Los interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las tensiones. La principal fuente de una distorsión de forma de onda interarmónica son los convertidores estáticos de frecuencia, los ciclo convertidores, los motores de inducción y los equipos de arco.

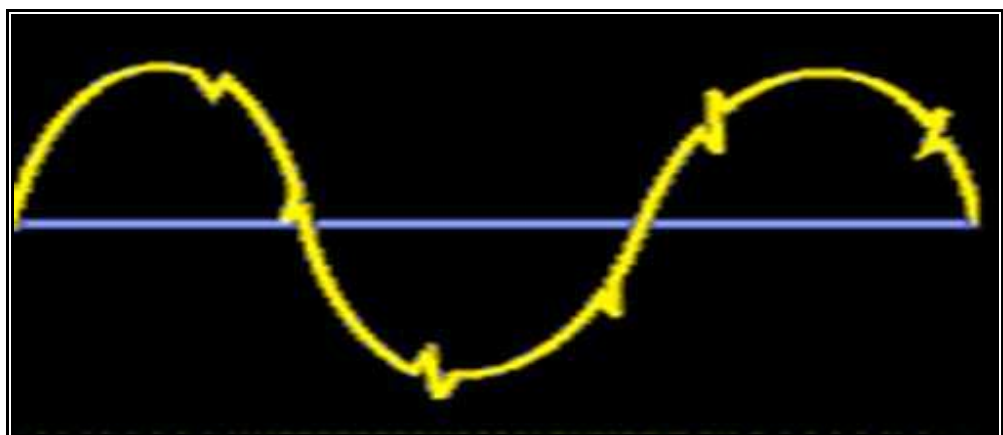
Los efectos de los interarmónicos no son bien conocidos. Parece que afectan las señales de onda portadora en sistemas de potencia o inducen titilaciones visuales en las pantallas.

**1.4.4. Muecas:** Son una perturbación periódica de tensión causada por la operación normal de equipos electrónicos de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Debido a que las muescas o Notching ocurren continuamente, estas pueden ser caracterizadas mediante un espectro armónico de tensión afectado; sin embargo, estas perturbaciones se tratan siempre como un caso especial. Los componentes de frecuencia asociados con muescas pueden ser relativamente altos y pueden no ser fácilmente caracterizados con equipos normales usados para medición de armónicos.

Las muescas ocurren cuando la corriente se conmuta de una fase a otra; durante ese período, hay un corto circuito momentáneo, entre las dos fases, llevando a la tensión muy cerca de cero, hasta donde lo permitan las impedancias del sistema.

**Figura 8. Muesca En La Onda De Señal [2]**

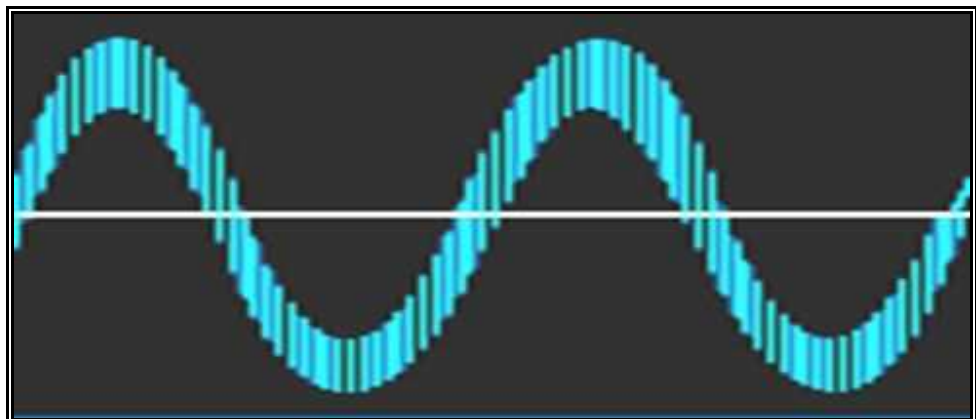


**1.4.5. Ruido:** El ruido es definido como una señal eléctrica indeseada con contenido de banda amplia, menor de 200 KHz, superpuesta a la tensión o corriente de los conductores de fase, conductores de neutro o conductores de señal.

Los ruidos en un sistema de potencia pueden ser causados por equipos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipos de arco, y maniobras del sistema. Los problemas de ruido son muy molestos, pues interfieren los sistemas electrónicos o de comunicación cuando existen puestas a tierra inadecuadas que fallan en aislar el ruido producido por el sistema de potencia.

Básicamente, el ruido es cualquier distorsión indeseada de la señal de potencia, que no puede ser clasificada como distorsión armónica o transitoria. El ruido perturba a los equipos electrónicos tales como microcomputadores y controladores programables, el problema puede ser mitigado usando filtros o transformadores de aislamiento.

**Figura 9. Ruido En La Onda De Señal [2]**



### **1.5. FLUCTUACIONES DE TENSIÓN.**

Es conocido también como FLICKERS los cuales son variaciones sistemáticas de tensión aleatorias. La magnitud normalmente no excede el rango entre 0.9 p.u. a 1.05 p.u.

Se restringirá el uso a las fluctuaciones de tensión de tipo d, las cuales son caracterizadas por una serie de fluctuaciones de tensiones aleatorias o continuas.

Las cargas que pueden presentar variaciones continuas y rápidas en la magnitud de la corriente de carga pueden causar variaciones de tensión que son referidas como titilaciones.

El término, técnicamente correcto de fluctuación de tensión es un fenómeno electromagnético, mientras que la titilación es un resultado indeseable de la fluctuación de tensión en algunas cargas. Sin embargo, los dos términos son usados frecuentemente en las normas internacionales.

## 2. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

En un par de ocasiones a mediados de año del 2005 varios Transformadores de Potencial y Corriente, localizados en el módulo de salida de la turbina de combustión #1 de la empresa TERMOFLORES S.A. ESP, explotaron debido a circunstancias desconocidas hasta el momento, liberando partes destrozadas de gran tamaño y puntiagudas a una gran velocidad causando daños severos a equipos cercanos lo cual produjo interrupciones en el proceso de generación de energía produciendo grandes pérdidas económicas para la empresa.

Conociendo la importancia que tiene la energía eléctrica, su generación y la vida de las personas que laboran y maniobran esta clase de equipos la empresa se ha puesto en la tarea de buscar la causa o causas de dichas explosiones, por esta razón se ha decidido realizar una serie de pruebas y estudios dentro de los cuales se encuentran: un exhaustivo análisis de la calidad de energía para así mejorar el servicio suministrado a los distintos clientes, evitar futuros daños a equipos y lo más importante proteger vidas humanas, análisis de la zona del Atlántico para validar la información suministrada por el medidor de calidad de energía por medio del software Digsilent, inspección física de campo de equipos de patio e inspección física de la malla de puesta a tierra.

Con las medidas correctivas que se implanten la empresa logrará evitarse problemas como los citados a continuación:

- ✚ Sobrecargas de la red por el incremento de la intensidad eficaz.
- ✚ Sobrecargas de los conductores del neutro debido a la suma de los armónicos de rango 3 generados por las cargas monofásicas.
- ✚ Sobrecargas, vibraciones y envejecimiento prematuro de los generadores, transformadores y motores.
- ✚ Sobrecarga y envejecimiento prematuro de los condensadores de compensación de energía reactiva.
- ✚ Deformación de la tensión de alimentación pudiendo perturbar a los receptores sensibles.
- ✚ Perturbación de las redes de comunicación o de las líneas telefónicas.

Se colocará un equipo medidor de calidad de energía que esta compuesto por un atenuador de señal, sistema de adquisición (tarjetas internas del equipo), equipo

de procesamiento (PCI) y software LABVIEW<sup>1</sup> para medida, cálculo, registro y almacenamiento que ayudará a diagnosticar el estado de las señales de los parámetros eléctricos como lo son frecuencia, tensión, corriente, armónicos de tensión y de corriente, desbalances, fluctuaciones de tensión, hundimientos y picos de tensión, sobretensiones temporales e interrupciones y de estos parámetros obtener un diagnóstico para así tomar medidas correctivas. Este equipo estará colocado por lapso de un mes en el cual guardará los datos obtenidos, los cuales se mostrarán a continuación de forma grafica.

El almacenamiento de la información de calidad de energía se realizó por medio del equipo medidor de calidad de potencia, el cual crea archivos planos, los cuales se describirán a continuación:

- ✚ La información de cada 10 minutos es almacenada en el archivo **CEL\_Semana\_j\_PM.csv**, en donde j corresponde al número de la semana, y PM corresponde al nombre de la barra/circuito o entrada digital. Cada 10 minutos se registra la fecha y hora en la cual comienza el período, el número de interrupciones que comenzaron en el intervalo y la duración total de las interrupciones durante éste (en segundos), el número de Desviaciones Estacionarias de Tensión (DET) que comenzaron en el intervalo, y la duración total de las DET durante éste (en segundos), el valor del  $P_{ST}$  para cada fase medida, con dos cifras decimales, y el valor de la relación  $V2 / V1$ .
- ✚ La información de los eventos de tensión es almacenada en un archivo del tipo "csv" llamado **ET\_Semana\_j\_PM.csv**, en donde j corresponde al número de la semana y PM corresponde al nombre de la barra/circuito o entrada digital. Se registra la fecha y hora en la cual comienza el evento, la mayor desviación (positiva o negativa) normalizada respecto al voltaje URV definido en el Estándar IEC 61000-4-30 (2003-02), por fase.

Además de los registros mencionados anteriormente el Medidor de Calidad de la Potencia desarrollado por XM, guarda en un archivo plano el valor agregado (promedio) de cada 10 minutos de otras variables de interés, como la tensión en cada fase y la distorsión armónica total (THDV).

- ✚ Almacena en el disco duro archivos planos con la información histórica agregada<sup>2</sup> cada 3 segundos, 10 minutos y 2 horas.
- ✚ Además de calcular indicadores de calidad, como el Pst y el THDV, de registrar eventos transitorios, estacionarios e interrupciones, almacena las ondas de tensión y corriente cuando es detectado un evento transitorio.

---

<sup>1</sup> Labview: Es una herramienta de programación gráfica, para la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control.

<sup>2</sup> según norma IEC-61000-4-30.



En cuanto a la información de los equipos de patio se contó con la colaboración de la empresa AREVA encargada de realizar la inspección física de los equipos; además de estos estudios se realizó uno alterno que consistió en la revisión de diseño, condiciones de las mallas de puesta a tierra de las subestación (medidas de continuidad, resistividad y resistencia de puesta a tierra) por parte de la empresa INGESOFT Ltda.

Figura 10. Evento de Tensión Transitoria [3]

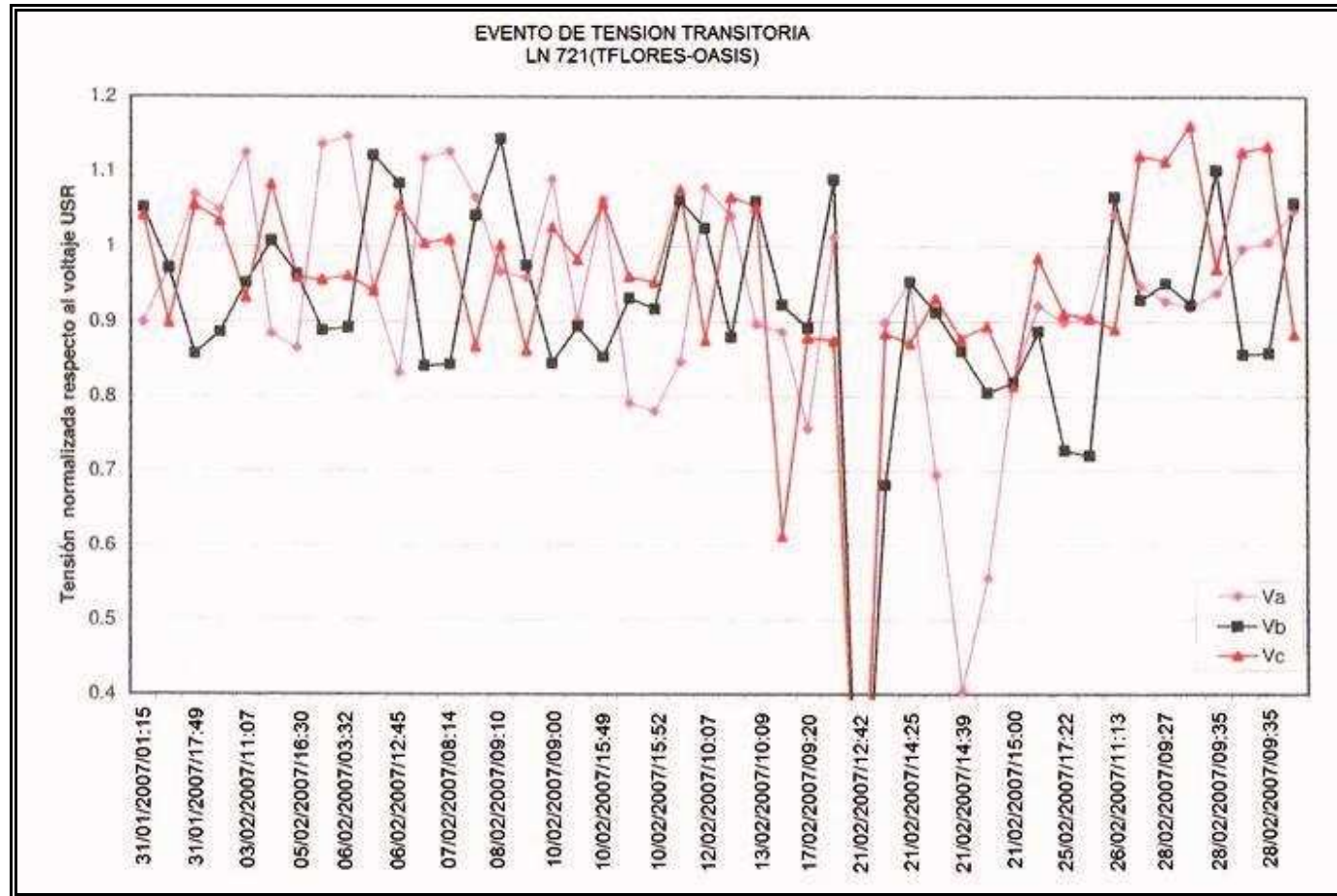


Figura 11. Duración de Interrupciones y Número de Interrupciones [3]

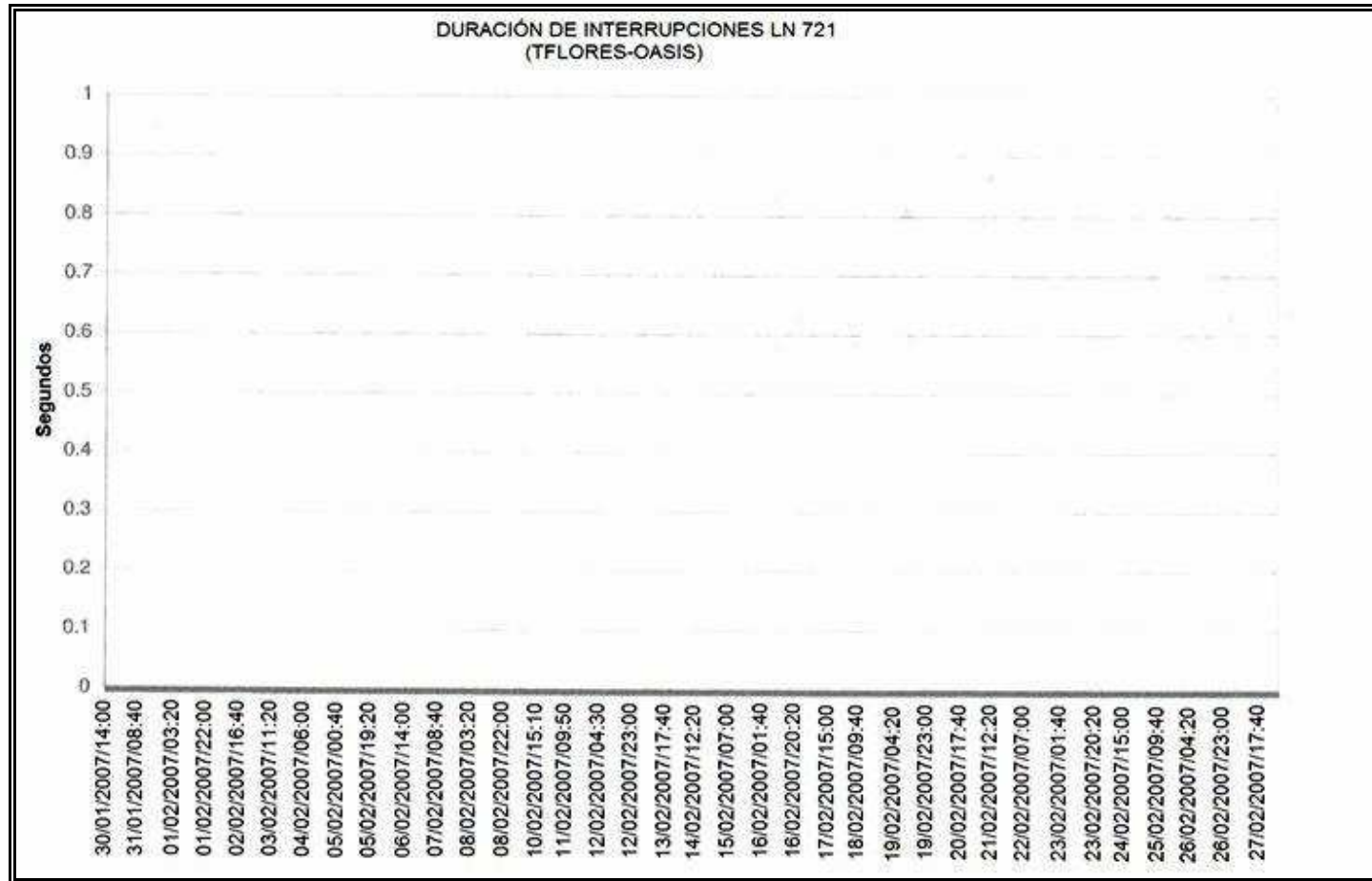


Figura 12. Duración de Desviaciones [3]

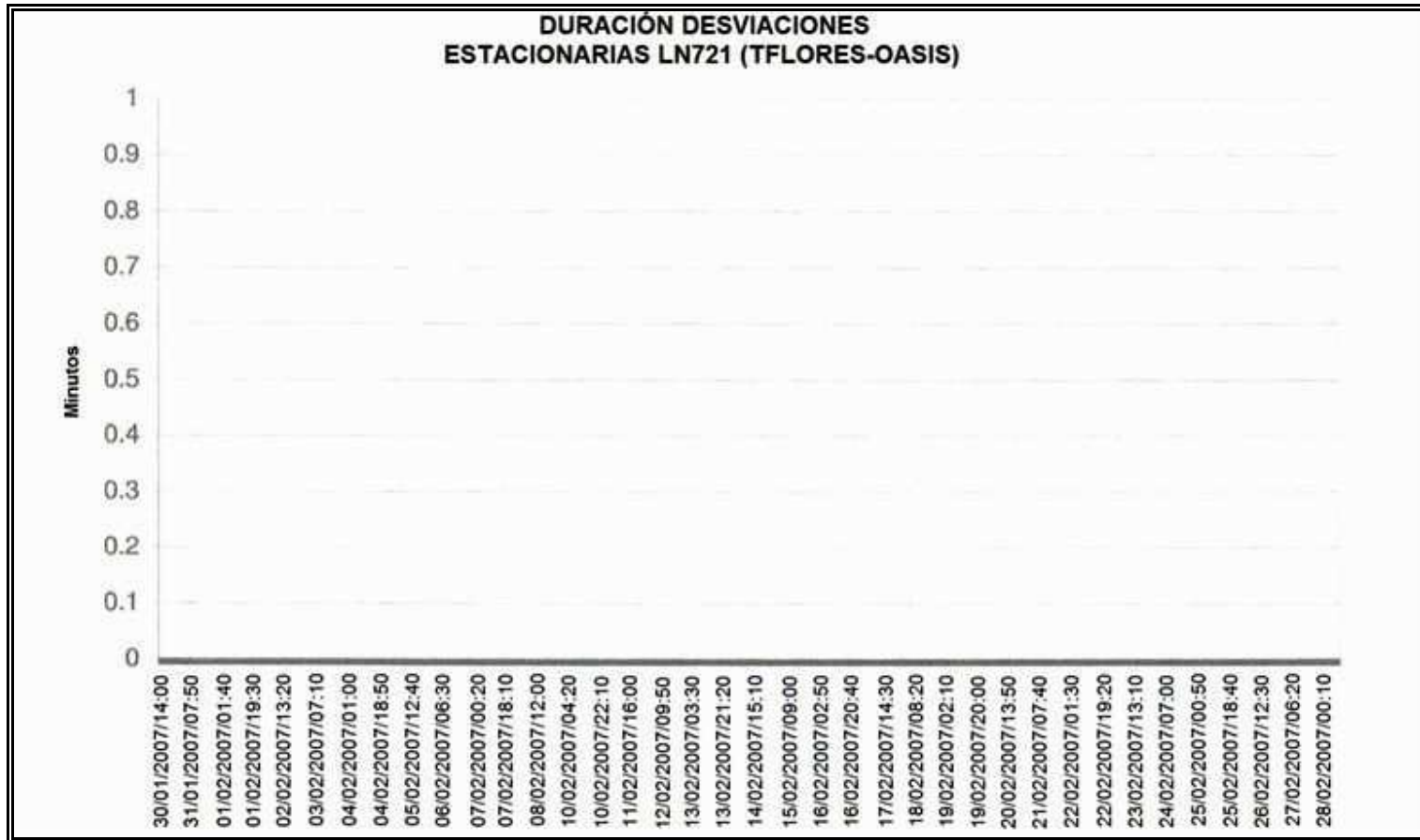


Figura 13. Indicador de PST [3]

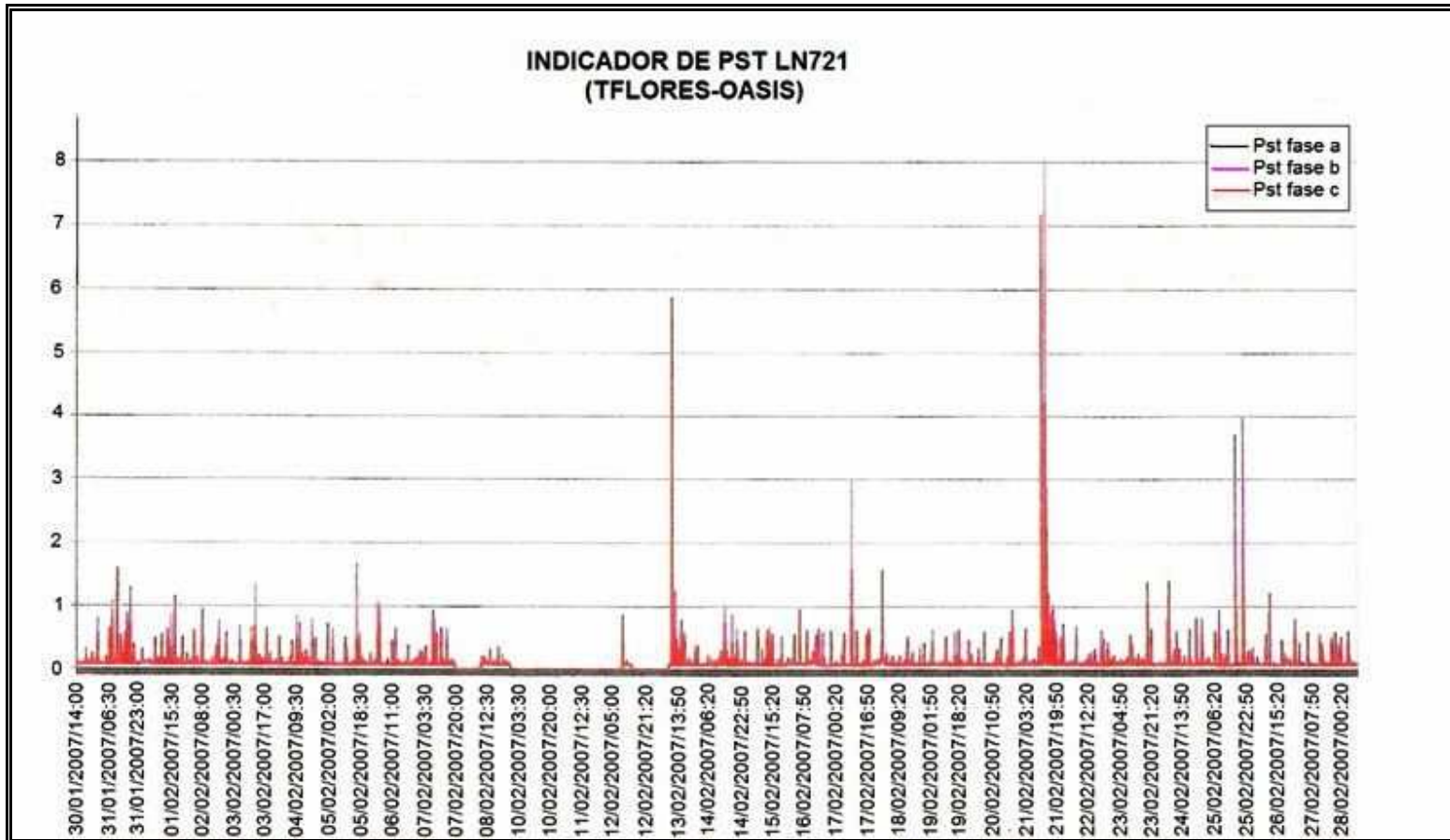


Figura 14. Indicador de Desbalance de Fases [3]

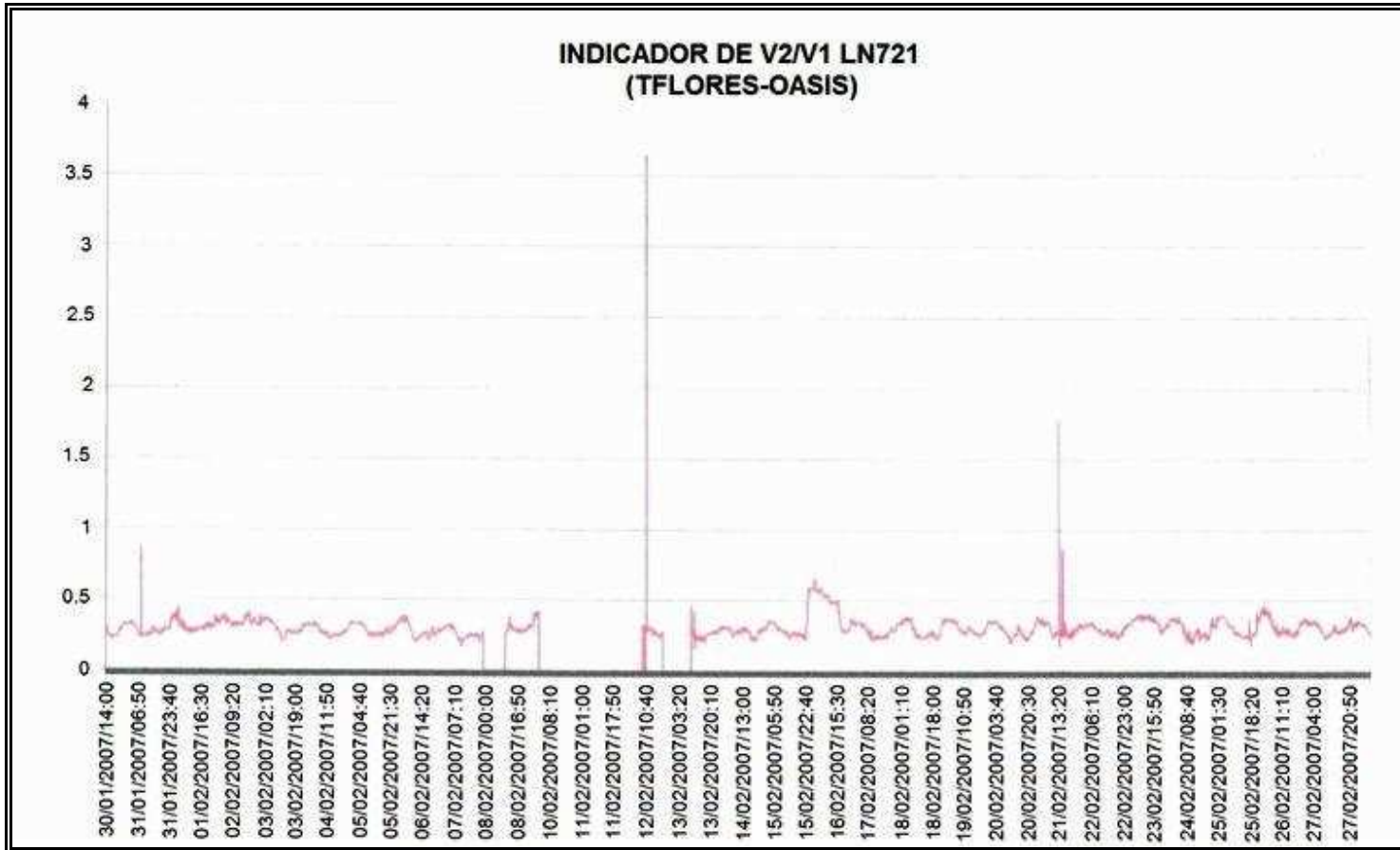




Figura 15. Tensión Promedio cada 10 Minutos [3]



Figura 16. Distorsión Armónica de Voltaje (THDV) Promedio [3]

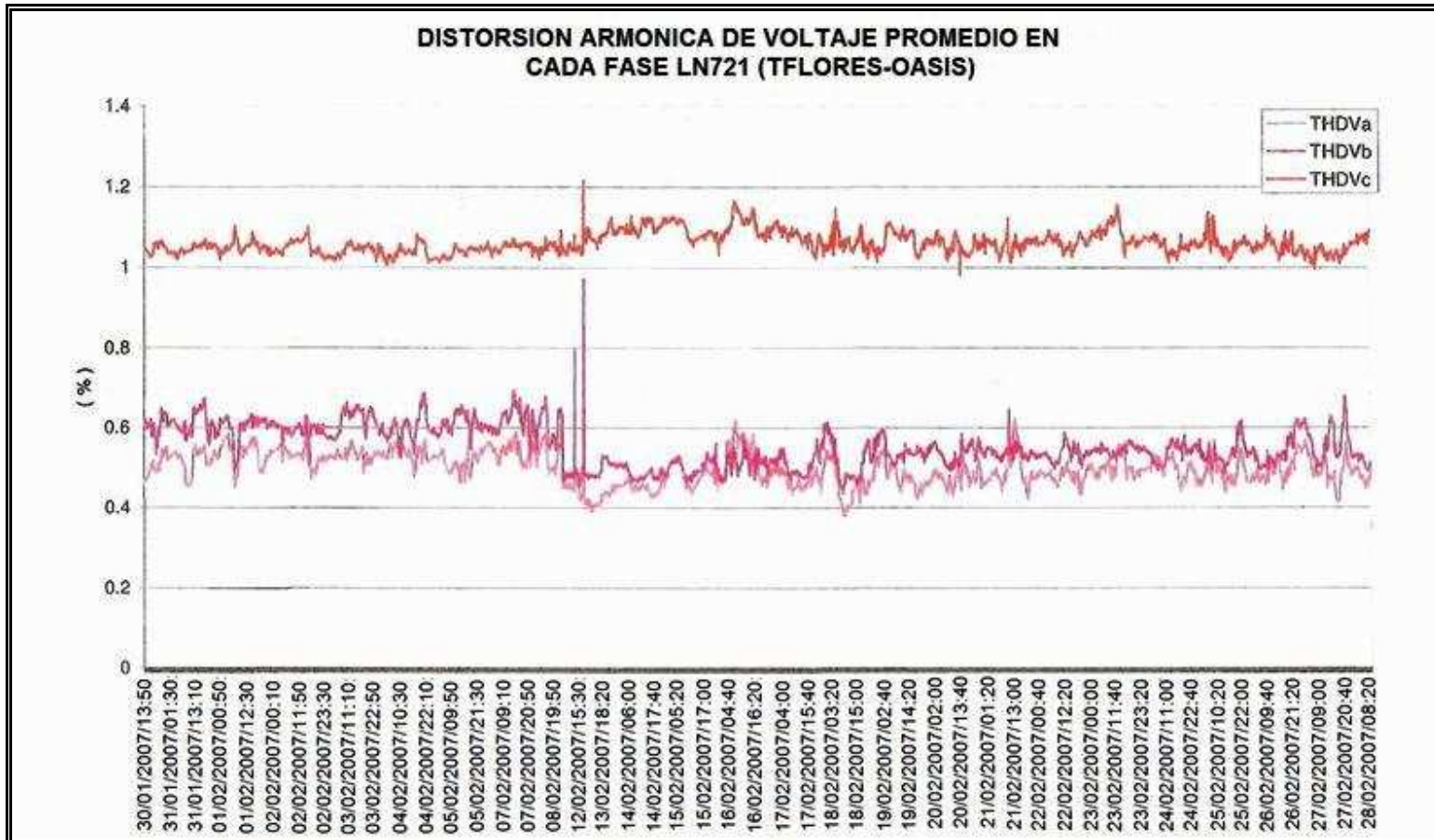
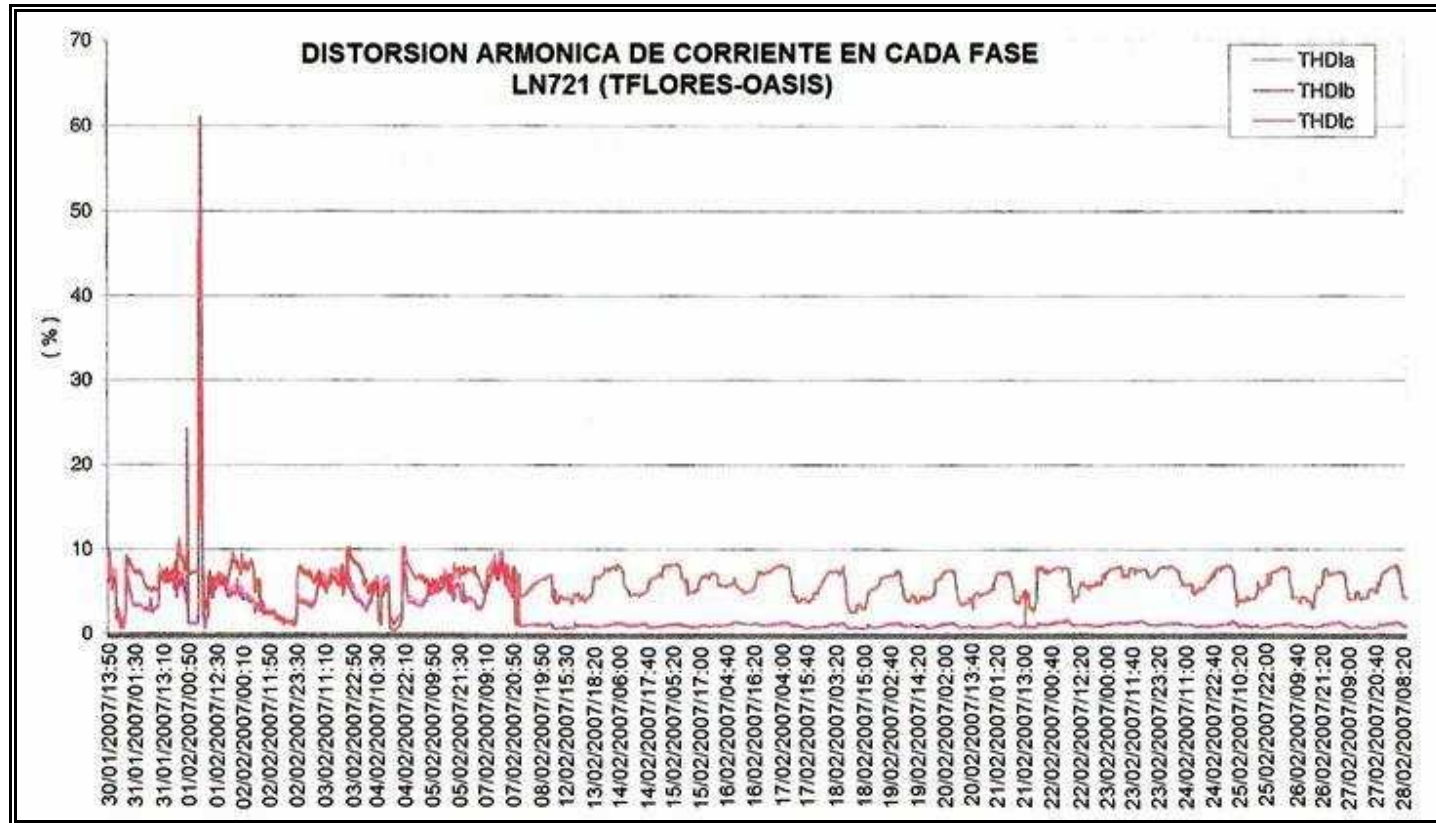




Figura 17. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Promedio [3]



**Figura 18. Armónicos de Voltaje**



**Figura 19. Armónicos de Corriente**



Figura 20. Corriente cada 3 Segundos [3]



Figura 21. Falla Trifásica vista desde LN721 TFLORES-OASIS [3]

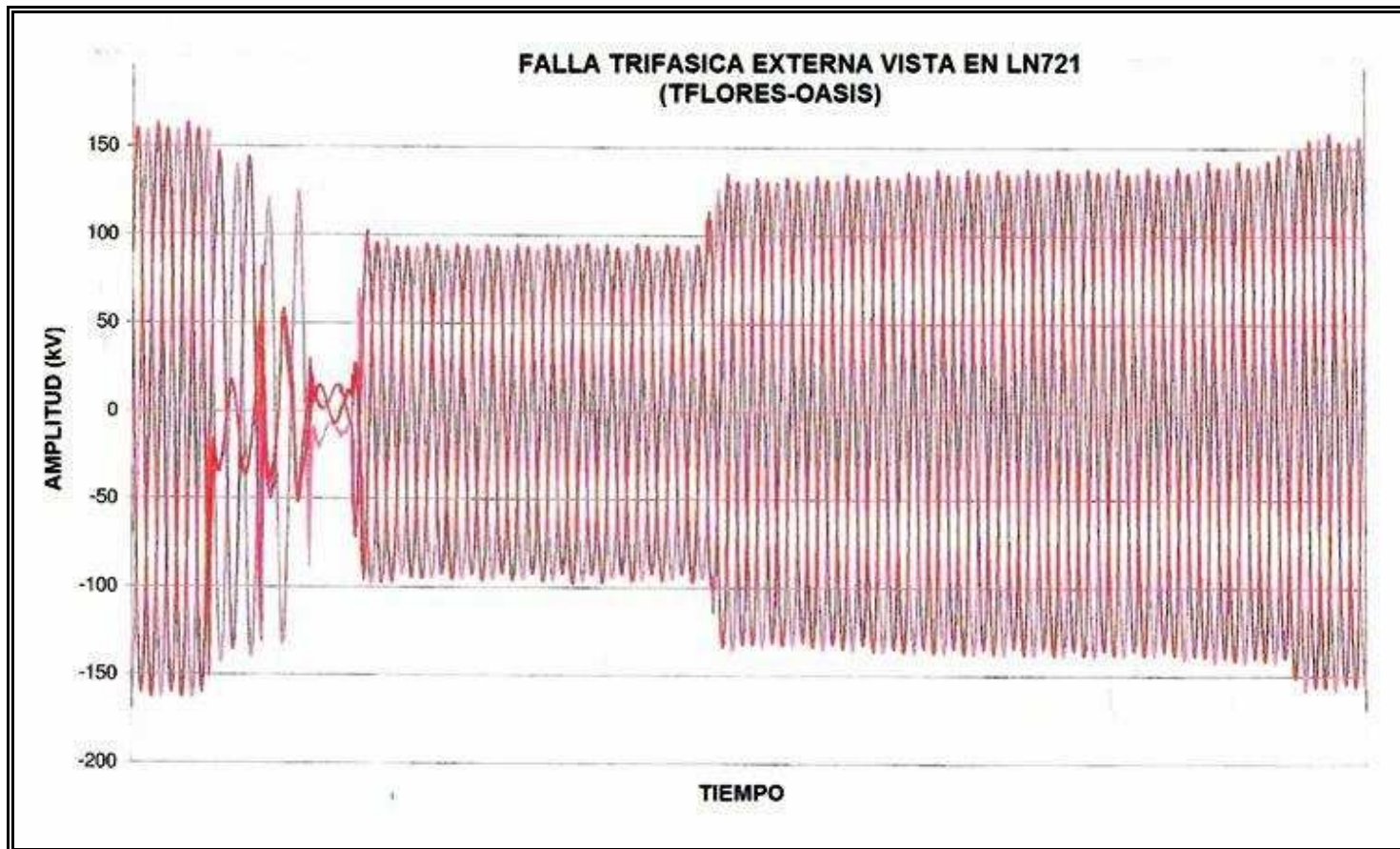


Figura 22. Hundimiento de Fase a por Evento Externo [3]





Figura 23. Hundimiento de Fase A a las 14:48 visto en LN721 [3]

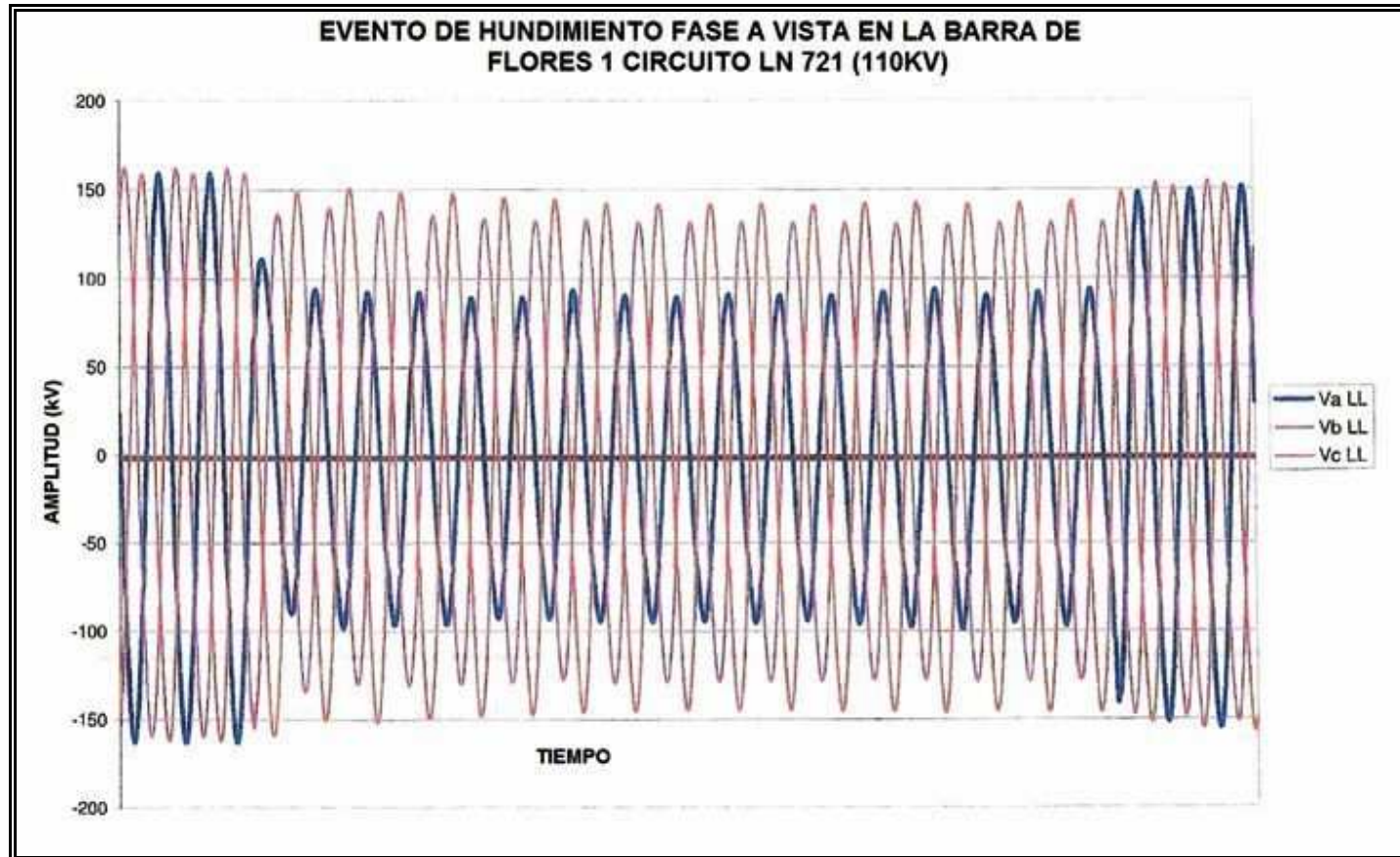
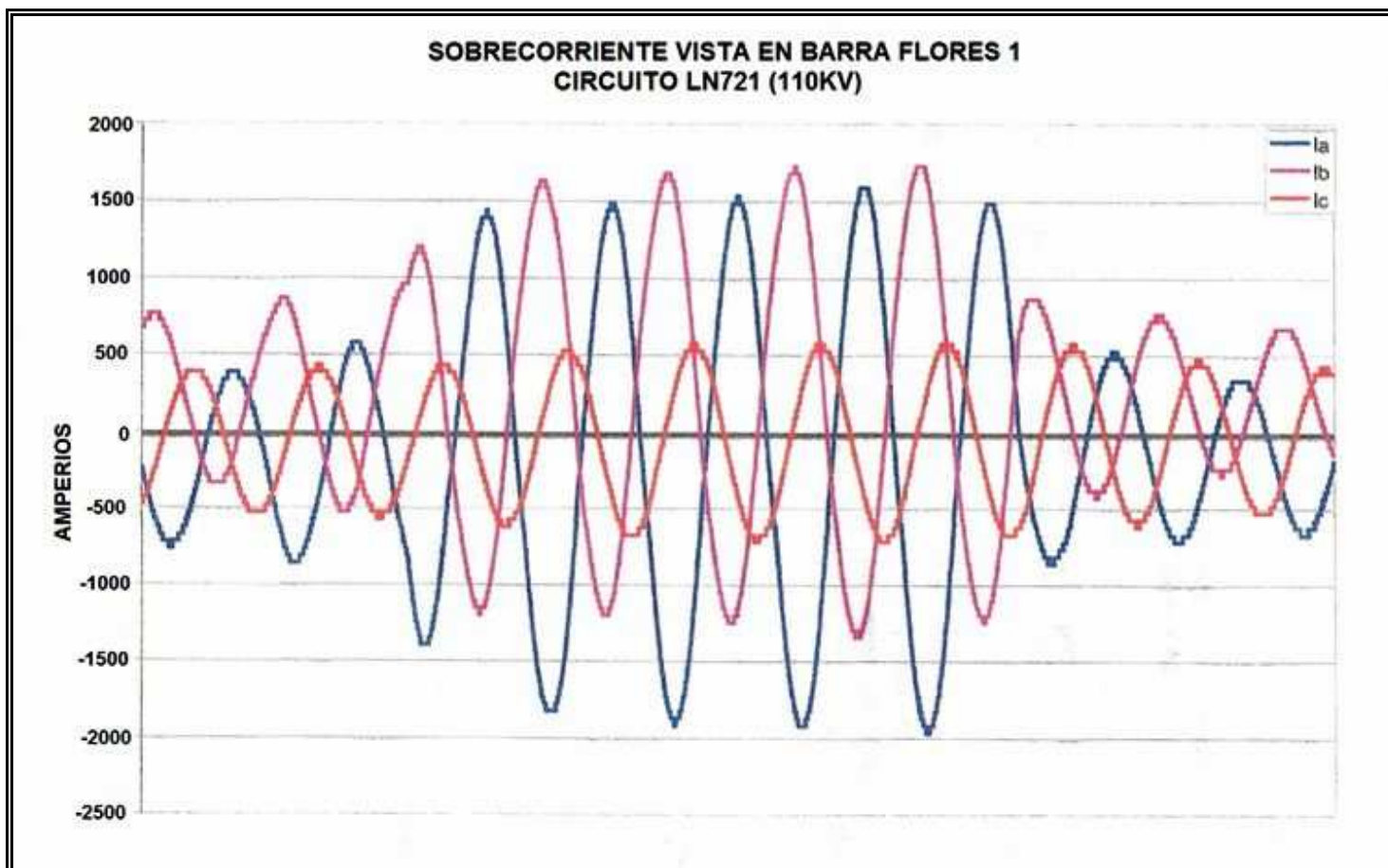


Figura 24. Sobrecorriente vista en LN721 [3]



Posterior a la recolección de datos con el medidor de calidad de energía se procedió al análisis de los mismos con base en los estándares actuales que rigen los fenómenos estudiados por la calidad de energía tales como:

- ✚ IEEE STD 1159-1995 Recommended Practice For Monitoring Electric Power Quality.
- ✚ IEEE 519-92 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- ✚ IEEE 1159 Power Quality Monitoring
- ✚ IEEE P1159 Characterization of Power Quality Phenomena (task force)
- ✚ IEC STANDARD 61000-4-7 Monitoring and Measuring Harmonics
- ✚ IEC STANDARD 61000-4-30 Monitoring Power Quality Problems
- ✚ IEEE P1564 Voltage Sag Performance
- ✚ IEEE STANDARD 1346-1998 Voltage Sag Performance
- ✚ IEC STANDARD 61000-2-8 Voltage Dips and short Interruptions
- ✚ STANDARD 519-1992 Harmonic Levels
- ✚ IEEE STANDARD 519-A Harmonic Limits on Power Systems
- ✚ IEEE STANDARD P1531 Harmonic Filter Design
- ✚ IEC STANDARD 61000-4-15 Characterizing Flicker

El primer paso del estudio consiste en analizar la información grabada en los archivos, para dar una rápida mirada a lo sucedido durante el período de estudio.

En este orden de ideas, en el estudio de Termoflores se inicia con listar (graficar) todos los eventos transitorios de tensión de cada una de las barras monitoreadas.

Posteriormente se analizan los registros de cada 10 minutos, en los cuales se logra identificar si hubo interrupciones, desviaciones estacionarias de tensión y la evolución en el tiempo del Pst.



Se extraen los períodos con los mayores valores de Pst. Puede decirse que si en un período el valor del Pst supera el valor de 2, es porque durante el mismo hubo algún evento o variación anormal de la tensión.

Se toman los archivos de cada 3 segundos para analizar la evolución de la tensión, en aquellos días (o períodos) es los que se registraron eventos o valores de Pst (o cualquier otra variable), por fuera de los valores promedio.

El medidor guardó poco más de 70 eventos con sus formas de onda u oscilografía, de los se mostraron solo los más importantes para estudiar en detalle la evolución transitoria de varios eventos ocurridos.

Con la ayuda de éstos y con la colaboración de un grupo expertos en el tema y mi persona se verificó si los parámetros estudiados se encontraban dentro de los límites.

### 3. ANALISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para realizar el análisis se debe primero conocer el medidor de calidad de energía el cual fue suministrado y fabricado por la empresa XM, el cual fue diseñado para cumplir a cabalidad las normas internacionales más relevantes en cuanto a calidad de la potencia, adicionalmente, su desarrollo estuvo enfocado a proveer una solución con un alto estándar técnico y económicamente viable, que cumpliera con los requerimientos de la CREG y de las normas internacionales de una manera segura, confiable y oportuna.

El medidor permite calcular, monitorear y registrar una variedad de fenómenos conducidos en sistemas eléctricos, inherentes a la calidad de la potencia eléctrica. El equipo de medición desarrollado por XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP se focaliza en las siguientes mediciones y cálculos:

- ✚ Medición de voltaje de un sistema trifásico.
- ✚ Cálculo de la valores RMS cada  $\frac{1}{2}$  ciclo por fase.
- ✚ Cálculo de la valores RMS cada 12 ciclos por fase.
- ✚ Cálculo del Voltaje USR por fase.
- ✚ Cálculo de la frecuencia.
- ✚ Cálculo del Pst<sup>3</sup> y Plt (Flicker de largo plazo) por fase
- ✚ Cálculo del indicador THDV (Distorsión Armónica Total de Voltaje) por fase.
- ✚ Cálculo de Armónicos (hasta el armónico 50) por fase.
- ✚ Cálculo de la relación de voltaje secuencia negativa / secuencia positiva.
- ✚ Detección de continuidad de servicio (ausencia de tensión por más de 1 minuto).
- ✚ Detección de desviación estacionaria de tensión.
- ✚ Detección de picos, hundimientos e interrupciones de corta duración a través de umbrales basados en el voltaje USR por fase.
- ✚ Umbrales para continuidad del servicio (interrupciones de larga duración) y desviación estacionaria de tensión basados en el voltaje nominal.
- ✚ Umbrales para verificación de límites de THDV, THDI, Desbalance, Pst, Plt y frecuencia.

---

<sup>3</sup> Pst: Perceptibility Short Term (Perceptibilidad de corto plazo del flicker)

- ✚ Generación automática de archivo de eventos e información histórica acorde con lo exigido en la resolución CREG 024 de 2005.
- ✚ Sistema general de reporte de eventos.
- ✚ Agregación de datos de acuerdo a la norma IEC 61000-4-30, cada 150 ciclos, 10 minutos y 2 horas.
- ✚ Umbrales independientes para desviaciones estacionarias de tensión e interrupciones de larga duración y para hundimientos, picos e interrupciones de corta duración.
- ✚ Entradas digitales para identificación de posición de interruptores y generación automática de registros CREG-024 asociados a estos circuitos.

La evolución de estas variables almacenadas en forma de onda durante el periodo de estudio se estudiarán y analizarán a continuación:

### 3.1. EVENTOS DE TENSION.

Se presentaron un total de 43 eventos de tensión la mayoría (83%) con duración inferior a 100ms (suicheos según IEEE Std 1159-1995 sección 4.4.1); se registraron tres eventos con duración superior a 200ms e inferior a 350ms.

En estos la tensión en al menos una de las fases cayó por debajo de 0.8 pu<sup>4</sup>, que pueden interpretarse como fallas externas no despejadas en ZONA 1.

Se presentaron dos eventos con duración cercana a 600ms. uno de ellos es prácticamente una falla trifásica debida al disparó de la línea Silencio-Cordialidad 115kV y Veinte de Julio–Silencio 115kV<sup>5</sup> que debió ser vista por las protecciones en ZONA 1.

En la tabla 1 se resumen los cinco eventos, en donde se resalta el hecho de que cuatro de ellos ocurrieron el mismo día (21 de Febrero de 2007).

En la figura 10 se grafican todos y cada uno de los eventos transitorios registrados.

---

<sup>4</sup> la mayor desviación (positiva o negativa) normalizada respecto al **voltaje USR** definido en el Estándar IEC 61000-4-30(2003-02), por fase.

<sup>5</sup> Disparo de Silencio - Cordialidad y Veinte de Julio – Silencio por cable de guarda que se rompió y cayó sobre las líneas. Adicionalmente disparan los circuitos: Flores - Riomar 1-2 34.5 KV, Oasis-Centro 115 KV y Oasis - Silencio 110 KV.

**Tabla 1. Eventos de Tensión de Corta Duración.**

Fecha y Hora	Va min.	Vb min.	Vc min.	Duración por fuera del rango
13/02/2007/11:49	0.8855	0.9226	<b>0.6123</b>	0.340
21/02/2007/14:33	<b>0.6942</b>	0.9128	0.9311	0.280
21/02/2007/14:48	<b>0.5561</b>	0.8049	0.8937	0.290
<b>21/02/2007/12:42</b>	<b>0.1070</b>	<b>0.0817</b>	<b>0.0745</b>	<b>0.610</b>
21/02/2007/15:00	0.8199	0.8185	0.8142	0.660

### 3.2. NÚMERO Y DURACIÓN DE INTERRUPCIONES Y DESVIACIONES ESTACIONARIAS.

Durante este periodo de monitoreo no se registraron interrupciones ni desviaciones estacionarias de tensión en esta barra, lo cual se puede observar en las figuras 11 y 12.

### 3.3. INDICADOR PST.

El PST promedio fue de 0.10 contándose 3 periodos con PST superior a 5.0, debido al inicio y finalización de mantenimientos programados y al disparó de la línea Silencio-Cordialidad 115kV y Veinte de Julio–Silencio 115kV<sup>6</sup>, esto se puede observar en la tabla 2 y grafica 13.

**Tabla 2. Eventos de PST**

Fecha y Hora	Justificación del valor PST obtenido
13/02/2007/11:40	(fase c) Coincide con un evento de tensión registrado con una duración cercana a los 340ms
21/02/2007/12:40	Período en el cual ocurre evento de tensión severo
21/02/2007/14:30	(fase a) Mayor valor 8.08. Coincide con el evento de tensión registrado cuya duración fue ligeramente superior a los 600ms.
21/02/2007/14:40	(Fase a) Evento de tensión en la fase a

### 3.4. DESBALANCE DE FASES (V2/V1).

Relación  $v_2/v_1$  se encuentra dentro de los límites, el valor promedio fue de 0.27%; el valor mayor registrado fue de 3.6% el 12 de Febrero de 2007 a

<sup>6</sup> Disparo de Silencio - Cordialidad y Veinte de Julio – Silencio por cable de guarda que se rompió y cayó sobre las líneas. Adicionalmente disparan los circuitos: Flores - Riomar 1-2 34.5 KV, Oasis-Centro 115 KV y Oasis - Silencio 110 KV

las 10:30 debido al inicio y finalización de mantenimiento programado y siguiente máximo valor registrado fue de 1.8% el 21 de Febrero a las 13:20 cuando se presentó la falla trifásica externa de Silencio-Cordialidad 115kV y Veinte de Julio-Silencio 115kV, en la figura 14 se muestra los valores obtenidos.

### **3.5. TENSIÓN EN CADA FASE Y DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).**

La tensión promedio de los periodos de 10 minutos fue de 113.6kV y no se presentaron interrupciones, tal y como se ilustra en la figura 15.

La distorsión armónica total de voltaje (THDV) promedio de las tres fases es de 0.70% (El promedio de la fase C es de 1.06%). El mayor valor registrado fue de 1.21% el 13 de febrero de 2007 a las 10:10 en la fase C debido a mantenimiento programado, ver figura 16.

Según la tabla de la norma IEEE 519-92, el valor promedio encontrado está lejano del límite (2.5%).

La corriente promedio registrada en el circuito fue de 201.6 A, con un valor máximo de 616.7 A el 03 de Febrero de 2007 a las 18:00 y un mínimo de 12.9 A el 01 de Febrero de 2007 a las 6:00, ver figura 17.

La distorsión armónica de corriente (THDI) promedio de las tres fases es de 2.11% el promedio de la fase C es de 6.05%. Según tablas de la norma IEE 519-92 el valor promedio de las tres fases esta por debajo del límite, más no ocurre lo mismo con el promedio de la fase C debido a que esta fase puede estar tener mayor impedancia que las otras fases.

### **3.6. ARMONICOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE.**

Los armónicos de voltaje y corriente que se presentaron en el estudio de la Calidad de Energía son debidos a los mismos equipos (TP's y TC's) ya que muchas de las ondas de corriente y voltajes superan el rango de frecuencia de los equipos y por tanto son atenuados por los transformadores de medida lo que se ve reflejado en el programa como armónicos o por el equipo que monitoreaba la calidad de energía que pudo tener algunos problemas o fallas no visibles.

### 3.7. REPORTE DE HUNDIMIENTOS Y OTROS EVENTOS.

En la figura 20 se muestra la evolución de la corriente, agregada cada 3 segundos, registrada sobre la línea LN721 el 03 DE Febrero de 2007 día en que se detectó el máximo valor de distorsión armónica total de corriente THDI (60.26%). Observe como con el período del valor mínimo de corriente registrado coincide con el alto valor de THDI, queriendo decir que si bien la componente fundamental tomó un valor mínimo, las componentes armónicas mantuvieron su valor, llegando a representar el 60% del valor RMS.

En el registro de eventos del CND aparece que el 21 de Febrero a las 12:47:24 el siguiente evento:

“Disparó de la línea Silencio-Cordialidad 115kV y Veinte de Julio–Silencio 115 kV por cable de guarda que se rompió y cayó sobre las líneas, adicionalmente disparan los circuitos: Flores-Riomar 1-2 34.5kV, Oasis-Centro 115kV y Oasis-Silencio 115kV lo que ocasionó la salida de 135 MW de carga aproximadamente.

La figura 21 muestra la oscilografía registrada en la barra de Flores 1 (LN721 110kV) de este viento. Obsérvese como en esta última el evento se registra como un corto circuito trifásico.

Además se registran otros fenómenos ocasionados por el evento antes mencionado, se presentan de la siguiente forma:

- ✚ Evento hundimiento fase A (Figura 22) a las 14:40 visto en la barra de Flores 1 circuito LN721 (110kV).
- ✚ Evento hundimiento fase A (Figura 23) a las 14:48 visto en la barra de Flores 1 circuito LN721 (110kV).
- ✚ Evento de sobrecorriente (Figura 24) a las 15:18 visto en la barra de Flores 1 circuito LN721 (110kV).

### 3.8. ESTUDIO ELECTRICO DE LA ZONA EN DIGSILENT.

Para validar o corroborar la información obtenida por el medidor de calidad, se realizó por medio del software de simulación de eventos especialmente cortocircuitos llamados DIGSILENT<sup>7</sup> un análisis de la zona afectada por las explosiones de equipos de patio (TP's y TC's) en la subestación Termoflores-Oasis, especialmente a lo referente a las tensiones y niveles

---

<sup>7</sup> Digsilent: Digital Simulator Electrical Network.

de corto circuito en diferentes condiciones de demanda y despacho económico.

Actualmente la subestación TERMOFLORES cuenta con tres barajes diferentes (220kV asociados al generador Flores III, 110kV asociados al generador Flores II y 110kV asociados al generador Flores I). Los barajes de 110kV aunque se encuentran físicamente ubicados dentro de la subestación pero eléctricamente están separados por una impedancia del orden de  $2.4 \Omega$  que hace que se presenten flujos de potencia, niveles de voltaje y un comportamiento eléctrico ante fallas externas diferentes.

El área del Atlántico se caracteriza por ser una zona enmallada a nivel de 220, 110 y 34.5kV, con recursos de generación considerables tanto a nivel de 220kV como de 110kV, su distribución dentro del área hace que se requiera contar con diferentes medidas suplementarias (RAG, Teledisparos) que actúen ante diferentes condiciones de generación y cuando se presenta indisponibilidad de circuitos a nivel de 220, 110 o 34.5kV o ante fallas en dichos niveles de tensión.

En particular, la generación de TERMOFLORES constantemente se ve limitada por motivo de mantenimiento en activos aledaños a la subestación.

Para el análisis de la zona por medio del software se consideraron condiciones de demanda máxima, media y mínima, teniendo en cuenta las condiciones más críticas de generación para le área del Atlántico, esto es, máximas generaciones en TEBSA y TERMOFLORES I, II y III, máximo número de unidades en línea a nivel de 220kV y 110kV. Adicionalmente, para propósitos de evaluación de las máximas corrientes de corto circuito se evalúan las condiciones ante diferentes posibles despachos. La red modelada para le estudio se muestra a continuación:

- ✚ Se consideran las posiciones de los taps operativos.
- ✚ Se consideran disponibles todos los circuitos del área del Atlántico.
- ✚ El modelo utilizado para el análisis contiene toda la red nacional de 500, 220, 110 y 34.5kV del SIN. Adicionalmente, se considera la red de 66 y 34.5kV de las áreas de Bolívar y Atlántico.





### 3.8.1. ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO Y CONTINGENCIAS.

En todos los periodos de demanda se analizó el impacto de hacer un corto circuito en los barajes de 110kV de la subestación de TERMOFLORES.

Adicionalmente se complementa el estudio utilizando escenarios para día ordinario y día festivo.

En la tabla 3 se muestra en detalle los flujos de potencia a través de todos los activos instalados en la subestación de TERMOFLORES a nivel de 220 y 110kV y con diferentes condiciones de despacho.

**Tabla 3. Resultados de Demandas Máxima, Media Y Mínima**

GENERACION				FLUJO DE POTENCIA		
FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
169	135	190	750			
FLORES I-LAS FLORES 110kV				52	49	45
FLORES I-OASIS 110kV				117	67	126
TRAFO FLORES 110/34,5kV 1				26	25	23
TRAFO FLORES 110/34,5kV 2				26	25	23
FLORES II-OASIS 110kV				95	94	65
TRAFO FLORES 220/110kV				40	54	70
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 1				115	6	130
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 2				115	6	130
FLORES-RIOMAR 34,5kV 1				17	15	15
FLORES-RIOMAR 34,5kV 2				17	15	15
GENERACION				FLUJO DE POTENCIA		
FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
65	40	65	120			
FLORES I-LAS FLORES 110kV				46	47	39
FLORES I-OASIS 110kV				19	18	26
TRAFO FLORES 110/34,5kV 1				23	24	20
TRAFO FLORES 110/34,5kV 2				23	24	20
FLORES II-OASIS 110kV				109	104	81
TRAFO FLORES 220/110kV				70	64	41
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 1				3	0,5	13
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 2				3	0,5	13
FLORES-RIOMAR 34,5kV 1				14	15	11
FLORES-RIOMAR 34,5kV 2				14	15	11

GENERACION				FLUJO DE POTENCIA		
FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
65	40	65	750			
FLORES I-LAS FLORES 110kV				45	47	38
FLORES I-OASIS 110kV				20	18	27
TRAFO FLORES 110/34,5kV 1				23	24	19
TRAFO FLORES 110/34,5kV 2				23	24	19
FLORES II-OASIS 110kV				60	54	29
TRAFO FLORES 220/110kV				20	14	12
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 1				23	26	38
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 2				23	26	38
FLORES-RIOMAR 34,5kV 1				13	15	11
FLORES-RIOMAR 34,5kV 2				13	15	11
GENERACION				FLUJO DE POTENCIA		
FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
169	135	190	120			
FLORES I-LAS FLORES 110kV				52	52	46
FLORES I-OASIS 110kV				117	119	125
TRAFO FLORES 110/34,5kV 1				26	26	23
TRAFO FLORES 110/34,5kV 2				26	26	23
FLORES II-OASIS 110kV				145	90	116
TRAFO FLORES 220/110kV				11	45	19
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 1				90	117	104
FLORES II-NVA BQUILLA 220kV 2				90	117	104
FLORES-RIOMAR 34,5kV 1				17	17	15
FLORES-RIOMAR 34,5kV 2				17	17	15

Según la información anterior, en condiciones normales de operación no se observan problemas en los equipos ya que no se supera en ninguno de los casos el máximo valor de carga. En esta condición no hay limitación para la generación de TERMOFLORES a la máxima capacidad.

Al realizar los análisis de corto circuito para estas condiciones de despacho, se observó que en ninguno de los casos la corriente monofásica o trifásica superó el valor de 21kA. Esto muestra que el nivel de corto de los equipos (31.5kA<sup>8</sup>) presenta una holgura importante para futuras ampliaciones o incluso para una posible unificación del baraje de 110KV (Tabla No. 4).

Según información registrada por el Medidor de Calidad de Energía entre el 30 de Enero y el 28 de Febrero de 2007 la corriente máxima registrada ante

<sup>8</sup> Valor tomado de los planos unifilares suministrados por Termoflores.

fallas en el circuito LN721 Flores I-Oasis fue del orden de 2kA, muy por debajo del valor máximo simulado de 6.05kA.

**Tabla 4. Corriente Máxima para falla en Barra de FLORES 110kV**

PERIODO	GENERACION FLORES	APORTES	MINIMOS APORTES DE CORTOCIRCUITO (kA)			MAXIMOS APORTES DE CORTOCIRCUITO (kA)		
			MONOFASICO	BIFASICO O TIERRA	TRIFASICO	MONOFASICO	BIFASICO O TIERRA	TRIFASICO
MINIMO	496MW	Trafo Flores Gas	4,26	4,57	2,59	4,79	5,1	2,06
		Trafo Flores Vapor	1,3	2,04	0,94	2,14	2,2	1,04
		Flores-Las Flores 110kV	3,14	3,37	0,04	3,2	3,4	0,68
		Oasis-Flores	6,05	6,5	10,14	6,28	6,69	10,89
	0 MW	Trafo Flores Gas	3,38	4,3	–	3,58	4,46	–
		Trafo Flores Vapor	1,48	1,88	–	1,56	1,94	–
		Flores-Las Flores 110kV	2,2	2,6	0,58	2,33	2,9	0,63
		Oasis-Flores	4,26	5,41	9,03	4,59	5,7	9,79

La tabla 5 muestra el detalle de las posibles contingencias en los alrededores de la subestación TERMOFLORES que pueden limitar su generación.

Las contingencias de Flores I-Oasis 110kV y Oasis-Silencio 110kV muestran condiciones de sobrecarga que pueden ocasionar eventos en cascada en el área del Atlántico.

Para la contingencia Flores I-Oasis existe un RAG instalado en TERMOFLORES que dispara la unidad de vapor para aliviar la sobrecarga de la línea Flores I-LAS FLORES 110kV.

Para la contingencia Oasis-Silencio es necesario explorar la necesidad de instalación de un esquema suplementario con el operador de red, de tal forma que se evite el colapso del área del Atlántico.

**Tabla 5. Resumen De Demandas De FLORES I**

PERIODOS	FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	CONTINGENCIA	LIMITANTE	CORTE	OBSERVACIONES
MAXIMA MEDIA MINIMA	169	135	190	758	Flores-Oasis	Sobrecarga Trafos Flores 110/34.5kV  Sobrecarga Flores-Riomar I y II	Flores- Riomar 1 y 2 25MW	Este corte implica limitar la generación de Flores I a 80MW aprox. Existe un teledisparo asociado a la generación de Flores I.
					Oasis-Silencio	Sobrecarga Oasis-Centro 110kV	Oasis- Silencio mas Oasis- Centro 90MW	Este corte implica limitar la generación de Flores I y/o Flores II. Es posible implementar un teledisparo asociado a la generación Flores I y Flores II.
MAXIMA MEDIA MINIMA	85	40	85	120	-	-	-	-
MAXIMA MEDIA MINIMA	85	40	85	758	-	-	-	-
MAXIMA MEDIA MINIMA	169	135	190	120	Flores I-Oasis	Sobrecarga Flores-Riomar I y II	Flores- Riomar I y II 25MW	Este Corte implica limitar la generación de Flores I a 80MW aprox. Existe un teledisparo asociado a la generación de Flores I.
					Oasis-Silencio	Sobrecarga Oasis-Centro 110kV	Oasis- Silencio + Oasis- Centro 90MW	Este corte implica limitar la generación de Flores I y/o Flores II. Es posible implementar un teledisparo asociado a la generación de Flores I y II.

### 3.8.2. ANÁLISIS DEL VOLTAJE ESTACIONARIO:

Se observa que las tensiones del área no presentan ningún valor por fuera del rango operativo en condiciones normales. Incluso los valores simulados bajo condiciones de despacho mostradas dan como resultado tensiones con regulación dentro de una franja del 5% Tabla No. 6.

Según información registrada por el Medidor de Calidad de Energía entre el 30 de Enero y el 28 de Febrero de 2007. No se presentaron desviaciones estacionarias de tensión en los barajes de 220kV y 110kV, es decir, una tensión con valor desviado más del +/-10% de la tensión nominal por más de un minuto.

**Tabla 6. Resumen De Tensiones Máximas, Medias Y Mínimas En Cada Circuito De Termoflores**

PERIODO	GENERACION				TENSIONES				
	FLORES I	FLORES II	FLORES III	TEBSA	FLORES I 110kV	LAS FLORES 110kV	FLORES 34,5kV	FLORES II 110kV	FLORES III 220kV
MAXIMA	169	135	190	758	0,98	0,98	0,95	0,98	1,02
MEDIA					1,03	1,03	0,98	1,03	1,04
MINIMA					1,03	1,03	1,01	1,03	1,02
MAXIMA	85	40	85	120	1,01	1,01	0,97	1,01	1,02
MEDIA					1,02	1,02	0,99	1,03	1,04
MINIMA					1,02	1,02	1	1,02	1,01
MAXIMA	85	40	85	758	1,02	1,01	0,98	1,02	1,04
MEDIA					1,03	1,03	1,08	1,04	1,05
MINIMA					1,03	1,03	1,01	1,03	1,03
MAXIMA	169	135	190	120	1,02	1,02	0,98	1,01	1,03
MEDIA					1,03	1,03	0,99	1,03	1,04
MINIMA					1,03	1,03	1,01	1,03	1,02

### 3.9. INSPECCIÓN FÍSICA DE CAMPO DE EQUIPOS Y MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Además del Estudio de Calidad de Energía la empresa se dio en la tarea de realizar otros estudios para saber cuales fueron las verdaderas causas de las explosiones de los equipos de patio (TC's y TP's) entre las cuales se encuentran una inspección física del lugar y de los equipos, lo mismo que una inspección física y estudio de la malla de puesta a tierra de la subestación.

En primer lugar se hablará de los detalles encontrados en la inspección física de campo de los equipos de patio donde se encontraron varias inconsistencias y en segundo lugar se hablará de las inconsistencias encontradas en la malla de puesta a tierra.

Debido a la ubicación geográfica de TERMOFLORES es fácil encontrar altos grados de corrosión y salinidad por lo que para evitar el contorneo superficial en los TP's, TC's y demás equipos, se efectúa el lavado de aislamiento en vivo (equipo energizado) con agua tratada, con una frecuencia de lavado de una vez por semana lo cual no es la más adecuado debido a que se realiza por intuición y no por que una condición física de los equipos que muestren la necesidad de lavarlos; esto ha provocado el daño en el área de sellado entre la tapa de aluminio de los módulos capacitivos y la junta de sellado, permitiendo la penetración de humedad hacia la parte

interna de dichos módulos, la consecuencia de esto es la contaminación del aceite; esto se puede observar en la graficas siguientes:

**Figura No. 26. Corrosión En Junta De Sellado [4]**



**Figuras 27. Corrosión En Junta De Sellados De TP'S Y TC'S [4]**

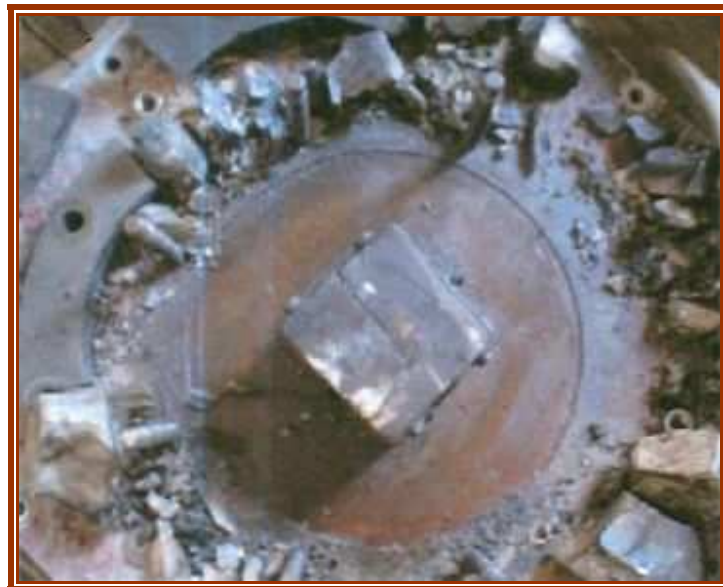


Corrosión

**Figura 28. Oxidación En Área De Sellado [4]**



**Figura 29. Oxidación En Área De Sellado [4]**

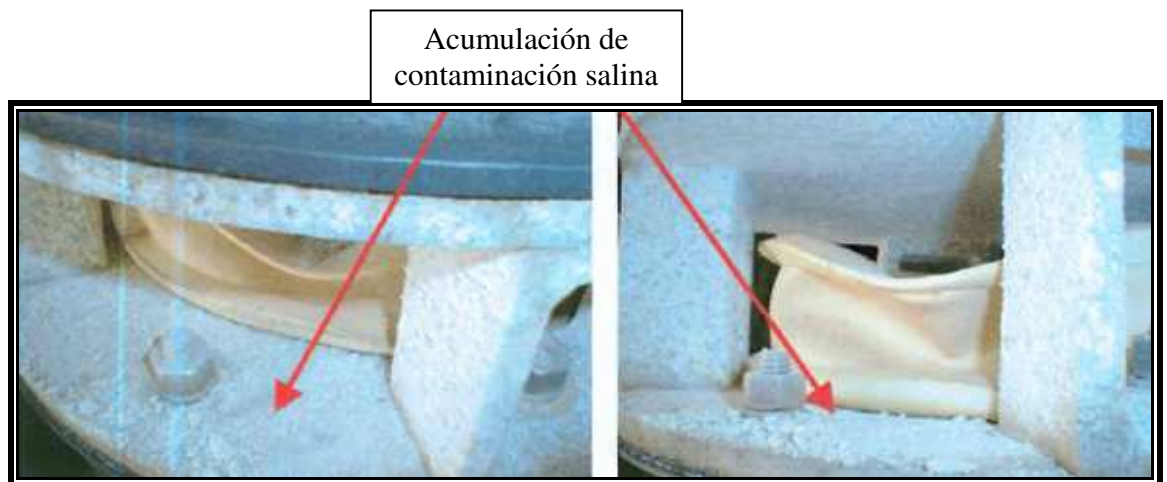




**Figura 30. Oxidación En Área De Sellado En La Parte Donde Se Encontraba El Pasamuros [4]**



**Figura 31. Acumulación De Sales En Superficie De Tapa De Porcelana [4]**

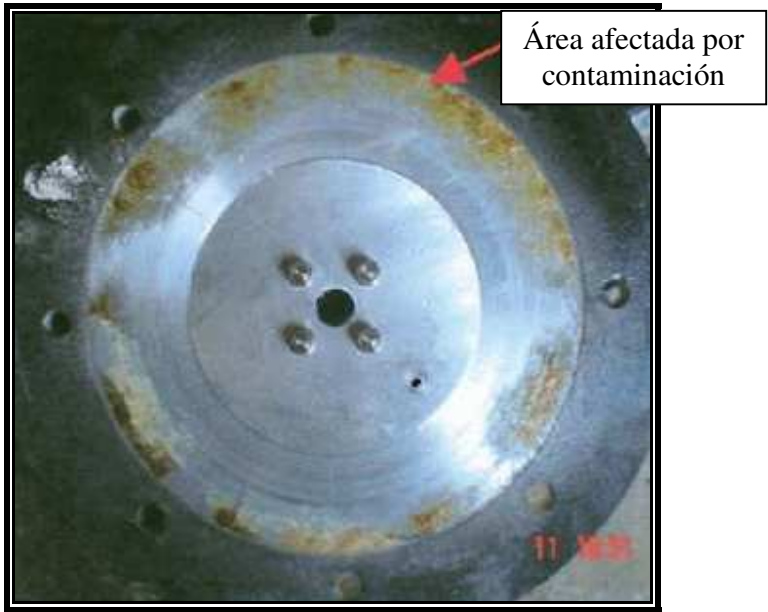




**Figura 32. Contaminación En Superficie De Tapa De Aluminio De Los Módulos Capacitivos [4]**



**Figura 33. Contaminación En Parte Interna Del Modulo Capacitivo [4]**



**Figura 34. Contaminación Penetrada En La Parte Interna Del Modulo Capacitivo [4]**



Luego de la inspección física se analizaron los transformadores y se encontró alta contaminación en el empaque de sellado interno del modulo capacitivo por humedad; esta contaminación provocó que se pusieran en corto las bobinas capacitivas. Inicialmente la falla de una bobina provoca que el resto se sometan a valores de tensión superior a la nominal de operación y a medida que van fallando dichas bobinas, el tiempo es cada vez más corto, por lo que llega un punto en que la falla de bobinas se hace en cascada provocando la explosión de la porcelana.

A los equipos de patio no se les realizan inspecciones detalladas debido a que el instructivos de los Transformadores menciona que estos equipos no se les realiza mantenimiento; las únicas inspecciones que se les realizan a los transformadores tanto de potencial como de corriente son el FP (Factor de Potencia), cromatografía de gases, relación de transformación, resistencia de aislamiento de secundario, prueba de aceite y capacitancia y no son las mas adecuadas; debido a que el método de mediciones ejecutadas no es el adecuado, ya que no evalúan a los equipos como lo indican los manuales de mantenimiento de dichos equipos; y además TERMOFLORES no tiene una empresa fija para la realización de pruebas de los transformadores por lo cual no se tiene certeza de la ejecución de las mismas metodologías en los diferentes ensayos, por lo tanto cada empresa prestadora de este servicio posee un criterio diferente para la realización de

pruebas que puede ser hasta cierto punto erróneas como se comprobó con unas de ellas.

Se observa físicamente que la malla de puesta a tierra de la subestación esta desenterrada, abierta por diferentes partes y además de esto, muchos bajantes de pararrayos, TP's, TC's, seccionadores entre otros no se encuentran o están en malas condiciones, esto se corrobora por medio de la medición de resistencia a la malla dando como resultado valores que se encuentran fuera de los límites recomendados por las normas IEEE STD 80 de 2000, sección 14.1 y 174, IEEE STD 142 de 1991, sección 4.1.2 y RETIE sección 15.4 para subestaciones de alta y extra alta tensión (Tensión de paso 200 y 680V, puesta a tierra  $1\Omega$ ).

**Figura 35. Estructura de aislador tipo poste, patio de 220KV sin conexión a tierra [5]**



**Figura 36. Conexión mecánica de conductor de tierra a estructura pintado en su totalidad [5]**



**Figura 37. Corrosión de conectores [5]**





#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede observar por el estudio de calidad de energía realizado en Termoflores que parámetros como tensiones, corrientes, armónicos, sobretensiones, distorsiones armónicas, interrupciones, desviaciones se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas CREG, IEEE y RETIE; queriendo decir que éstos no ocasionaron las explosiones sucedidas en la subestación Termoflores LN721. Las verdaderas razones de las explosiones fueron los frecuentes lavados por intuición en caliente de los equipos de patio que produjeron corrosión en la parte interna de la mayoría de los equipos, contaminación del aceite por humedad a causa de los lavados y del ambiente ocasionando cortos internos. Además se tiene un factor agravante correspondiente a la malla a tierra la cual esta en mal estado por razones explicadas anteriormente. A los equipos no se les tiene un programa de mantenimiento adecuado ya que el manual no lo especifica, además las pruebas predictivas que le son aplicadas no siguen una misma metodología lo cual acarrea resultados erróneos y por consiguiente un concepto equivocado del verdadero estado de los equipos.

Se registraron dos eventos de tensión en 110kV con una duración cercana a los 600 ms el 21 de Febrero de 2007. Particularmente, uno de ellos fue visto como un corto circuito trifásico, en el cual las protecciones no actuaron. Esta operación se considera como acertada, pues el evento ocurrió en elementos del sistema externo de Termoflores. Sin embargo, al registrarse tiempos tan largos de alimentación de fallas en la red del Atlántico, puede evidenciar problemas de ajuste de protecciones en los equipos fallados que en este caso eran externos a la subestación Termoflores LN721. Se recomienda revisar la coordinación de las protecciones para evitar operación de las protecciones de Termoflores en tiempos de respaldo y que pueden causar desviaciones en la generación de la planta.

Durante la instalación del medidor de calidad de Energía se detectó una anomalía en las tensiones del neutro entre las subestaciones de 110kV y 220kV, evidenciada por una diferencia de potencial entre estos dos neutros, lo que sugiere problemas en la malla de tierra. Se recomienda revisar lo antes posible y si es posible cambiar algunos de los tramos de la puesta a tierra al igual que corregir los problemas de bajantes ausentes o en mal estado de algunos equipos de patio.

Se debe realizar lo antes posible, el ajuste de los tiempos de operación al cierre de los interruptores. En los datos registrados en las últimas pruebas se observan valores de 180 milisegundos en el tiempo de cierre, siendo estas muy superiores a los valores recomendados en el manual del fabricante; medidas que al incrementarse pueden ocasionar disparos por discrepancia de polos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos. México, 2006, 458p.

[2] GONZALEZ PUA, Christian. Estudio sobre Calidad de Potencia. Grupo de Investigación en Sistema de Potencia. Universidad del Norte. 2006.

[3] XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP. Estudio Eléctrico de la Subestación de Termoflores. Barranquilla. 2006, 41p.

[4] AREVA. Reporte de Inspección a Transformadores. Barranquilla. 2005 12p.

[5] INGESOFT. Informe De Diagnostico Del Sistema De Puesta A Tierra De Subestación I, II, III Las Flores. Barranquilla. 2006, 44p.

GUERRERO T, Carlos y JULIAO F, David H. Manual para el Curso de Calidad de la Energía Eléctrica. Barranquilla, 2004, 55p. Universidad del Norte. División de Ingenierías. Área de Investigación y Desarrollo.

Norma Técnica Colombiana. NTC 1486. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. ICONTEC.2002.

MIN. DE MINAS Y ENERGIA. “Reglamento Técnico de las Instalaciones Eléctricas”, Colombia, 2004.

BARTLEY William H., HSB. Analysis of Transformer Failures, International Association of Engineering Insurers, Conference Annual N°36. Stockholm, 2003.

JANTKE, Michael. And Investigation into Accurate Measurement of Three Phase Power. University of Queensland. Doctoral Thesis, 1998. The division of Electrical and Electronic Engineering.

ROLLAND Natalie. Incidentes de Explosiones e Incendios en Transformadores. Achères, France, 9p.

SVENSSON, Stefan. Power Measurement Techniques for Non-Sinusoidal Conditions: The significance of harmonics for the measurement of power and other AC quantities. Doctoral thesis. (Degree of Doctor of Philosophy). Chalmers University of Technology. Department of Electric Power Engineering. Goteborg, Sweden, 1999, 159p.

TÉLLEZ RAMÍREZ, Eugenio. Calidad de la Energía. Programa de Ahorro de Energía. Bellavista, Colombia, 2000, 25p.

ZUCKER Myron, Application Guide for Solving Harmonic Problems. Royal Oak, Michigan, 12p.

MENDEZ, Juan Carlos. CONCEPTO DE CALIDAD DE ENERGIA. Revista Bitácora Latinum, Noviembre 2002, 12p.

IEEE Std. 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

IEEE Std. 80-2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

IEEE Std. 1159-1995. IEEE Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality.

IEC 61000-4-30-2003. International Standard. Compatibilité Electromagnétique (CEM).

C. COLLOMBET, J-M. Lupin y J. Schonek. Cuaderno Técnico nº 152.



DUMAS, Frédéric. Cuaderno Técnico nº 158.

FIORINA, Jean Noel. Cuaderno Técnico nº 183.

FERRACCI, Philippe. Cuaderno Técnico nº 199.

## ANEXOS

### ANEXO A1: RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR DE CALIDAD DE LA POTENCIA XM

<p><b>Características del atenuador de señales</b></p> <p><b>Entradas de Voltaje</b> 4 canales de voltaje como mínimo, 3L-1N.</p> <p><b>Entradas de Corriente</b> 3 canales de corriente como mínimo. (opcional)</p> <p><b>Configuraciones básicas</b> 2 circuitos trifásicos (V) y 8 entradas digitales. 2 circuitos trifásicos (V) y 4 entradas binarias. 1 circuito trifásico (V e I) y 8 entradas digitales. 1 circuito trifásico (V e I) y 4 entradas binarias.</p> <p><b>Características de la tarjeta de adquisición</b></p> <p>Muestreo continuo y simultaneo en todos los canales. Número de Canales..... 8 diferenciales ADC Resolución.....16 bits, 1 en 65,536 Frecuencia de Muestreo Máxima... 250 kS/s Precisión: ..... <math>\pm 50</math> ppm para la base de tiempo interna. Ancho de Banda..... 490 kHz SINAD..... 89 dB at 10 kHz CMRR..... 75 dB at 60 Hz SFDR ..... 98 dB at 10 kHz Entradas/Salidas Digitales..... 8</p> <p><b>Características del equipo de procesamiento</b></p> <p>Diseñado para trabajo continuo. Diseñado para ambientes hostiles de temperatura, polvo y contaminación electromagnética. Procesador de alto desempeño (al menos 2.4Ghz) Memoria DDR DIMMx2. Max 2GB. Disco duro de alta velocidad de 40Gb. Tarjeta de red 10/100BaseT.</p>	<div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;"><i>Componentes para la medición de calidad de la potencia</i></p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p style="text-align: center;"><i>Configuración entradas analógicas</i></p> </div>
--	--



*Componentes para la medición de calidad de la potencia*



*Configuración entradas analógicas*



Puertos seriales y paralelos según las necesidades.

Unidades adicionales (USB, CD, 3 1/2, etc) según necesidades  
Sistema operativo Windows XP.

**Software para medida, cálculo, registro y almacenamiento.**

**Variables Medidas**

**Voltaje**

Valores RMS 1/2 ciclo en todos los canales.  
Frecuencia en canal 1, instantánea y cada 10 seg.  
Magnitud de voltaje cada 12 ciclos en todos los canales.  
Voltaje Usr en todos los canales.  
THDV en todos los canales.  
Armónicos en todos los canales (50 th).  
Interarmónicos (opcional) en todos los canales.  
Desbalance del sistema.  
Flicker: Ifl, Pst y Plt en todos los canales, incluye entradas digitales asociadas a canales de voltaje.

**Corriente (Opcional)**

Valores RMS 1/2 ciclo en todos los canales.  
Magnitud cada 12 ciclos en todos los canales.  
THDI en todos los canales.  
Armónicos en todos los canales (50 th).  
Interarmónicos (Opcional) en todos los canales.  
Desbalance en el sistema.

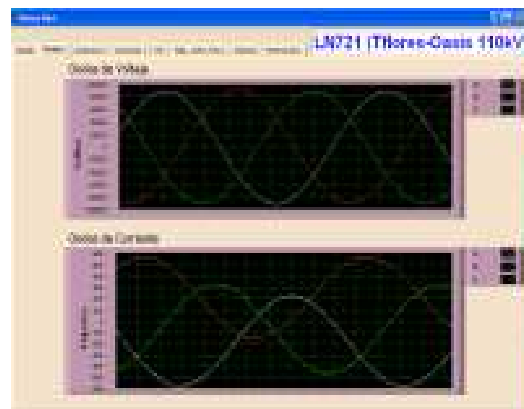
**Potencia (Opcional)**

Factor de Potencia.  
Potencia aparente, activa y reactiva.

***Medidas adicionales pueden ser consideradas a petición del cliente.***  
Almacenamiento continuo



*Configuración Umbrales*



*Panel de tiempo real-forma de onda*

### Cada 3 Segundos.

Amplitud fundamental en todos los canales.  
Valores marcados.  
THD en todos los canales.  
Desbalances en todos los canales.  
Frecuencia instantánea en el canal A.

### Factor de Potencia (Opcional).

**Potencia aparente, activa y reactiva (Opcional).**

**Energía Activa, aparente y reactiva (Opcional).**

### Cada 10 minutos.

Amplitud fundamental en todos los canales.  
Valores máximos y mínimos en el intervalo de agregación para la amplitud fundamental de cada canal.  
Valores marcados.  
THD en todos los canales.  
Desbalances en todos los canales.  
Pst en todos los canales.

### Cada 2 horas

Amplitud fundamental en todos los canales.  
Valores marcados.  
THD en todos los canales.  
Desbalances en todos los canales.  
Plt en todos los canales.

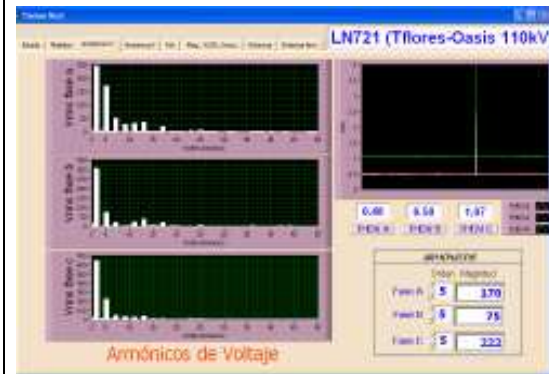
**Almacenamiento de medidas adicionales pueden ser considerados a petición del cliente.**

### Umbrales

2 Umbrales de Frecuencia  
Desviaciones estacionarias por encima del voltaje nominal.  
Desviaciones estacionarias por debajo del voltaje nominal.  
Umbral para picos basado en voltaje Usr o en voltaje nominal.  
Umbral para Hundimientos basado en voltaje Usr o en voltaje nominal.  
Umbral para THDV en todos los canales.  
Umbral para THDI en todos los canales (Opcional).  
Umbrales para distorsión armónica individual en todos los Canales de voltaje y de corriente.



Panel de tiempo real-forma de onda tensión y corriente



Panel de tiempo real – Contenido de armónicos y Distorsión Armónica Total, THDV



Panel de Tiempo Real-Contenido de armónicos y Distorsión Armónica Total, THD

Umbral por desbalance del sistema en voltaje y corriente.  
 Umbral para Pst y Plt.  
 Corriente de entrada (Opcional).

**Umbrales adicionales pueden ser considerados a petición del cliente.**

Sistema general de reporte de eventos.  
 La estampa de tiempo de todos los eventos es de 1 ms.

**Hundimiento instantáneos, momentáneos y temporales**

Inicia cuando el voltaje de uno o más canales cae por debajo del umbral del hundimiento y termina cuando el voltaje en todos los canales medidos es igual o superior al umbral de huecos más el voltaje de histéresis.

Evaluación

-Voltaje residual y profundidad (% Usr) en todos los canales, duración.

**Picos instantáneos, momentáneos y temporales**

Inicia cuando el voltaje de uno o más canales se eleva por encima del umbral del picos y termina cuando el voltaje en todos los canales medidos es igual o menor al umbral de picos menos el voltaje de histéresis.

Evaluación

-Amplitud máxima y porcentaje en función del voltaje Usr en todos los canales, duración.

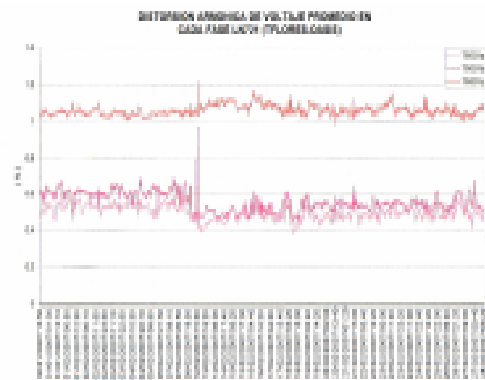
**Interrupciones momentáneas, temporales y sostenidas.**

Inicia cuando el voltaje en todos los canales cae por debajo del umbral de interrupciones y finaliza cuando el voltaje de cualquier canal es igual o superior al umbral de interrupciones más la histéresis.

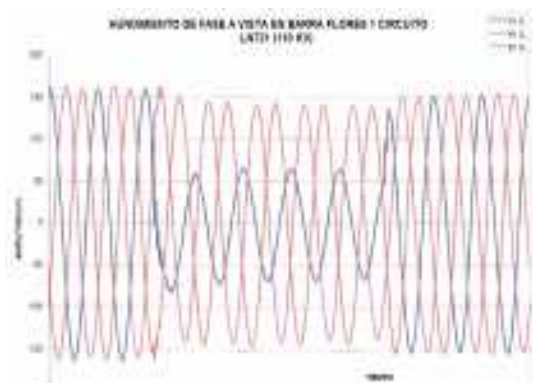
Evaluación

-Mínimo valor, Duración.

I



Registro del THDV



Registro de formas de onda y hundimientos

**Desviaciones estacionarias de voltaje (variaciones de larga duración).**

En esencia se trata de un pico o hundimiento con una duración superior a 1 minuto. La metodología de cálculo y evaluación es la misma.

**Eventos de frecuencia**

Inicia cuando la frecuencia sale de los rangos de variación especificados.  
Evaluación.  
Máximo o Mínimo valor, Duración.

**Violación límites de THD**

Inicia cuando el THD calculado cada 12 ciclos excede los valores del umbral.  
Evaluación  
Máximo valor en todos los canales, Duración.

**Violación límites de Pst**

Inicia cuando el Pst calculado excede los valores del umbral.  
Evaluación  
Máximo valor en todos los canales.

**Violación límites de Plt**

Inicia cuando el Pst calculado excede los valores del umbral.  
Evaluación  
Máximo valor en todos los canales.

**Violación límites de Desbalances**

Inicia cuando la relación V2/V1 calculada cada 12 ciclos excede los valores del umbral.  
Evaluación  
Máximo valor, Duración.

**Violación límites de distorsión armónica individual.**

Inicia cuando algún o algunas componentes armónicas de la señal superan el umbral especificado para estas.  
Máximo valor, duración.



Alarmas

Id.	Fecha	Hora	Tip. de evento	canal	valor	duración
1	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V1	100.0	10.0
2	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V2	100.0	10.0
3	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V3	100.0	10.0
4	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V4	100.0	10.0
5	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V5	100.0	10.0
6	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V6	100.0	10.0
7	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V7	100.0	10.0
8	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V8	100.0	10.0
9	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V9	100.0	10.0
10	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V10	100.0	10.0
11	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V11	100.0	10.0
12	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V12	100.0	10.0
13	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V13	100.0	10.0
14	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V14	100.0	10.0
15	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V15	100.0	10.0
16	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V16	100.0	10.0
17	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V17	100.0	10.0
18	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V18	100.0	10.0
19	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V19	100.0	10.0
20	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V20	100.0	10.0
21	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V21	100.0	10.0
22	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V22	100.0	10.0
23	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V23	100.0	10.0
24	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V24	100.0	10.0
25	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V25	100.0	10.0
26	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V26	100.0	10.0
27	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V27	100.0	10.0
28	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V28	100.0	10.0
29	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V29	100.0	10.0
30	2020/07/01	10:00:00	Exceso de voltaje	V30	100.0	10.0

Sistema general de reporte de eventos



**ANEXO A2. NORMA IEEE 519-92**

<b>Límites de Distorsión de Voltaje</b>						
<b>Voltaje de la Barra en el PCC</b>	<b>Distorsión de Armónicos Individuales (%)</b>			<b>Distorsión de Voltaje Total THDV (%)</b>		
Hasta 69 kV	3			5		
Desde 69 kV Hasta 161 kV	1.5			2.5		
Desde 161 kV en Adelante	1			1.5		
<b>LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE (DESDE 120 V HASTA 69000 V)</b>						
Máxima Distorsión Armónica de Corriente en Porcentaje de la Corriente Máxima de Carga (IL)						
<b>ORDEN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES ( IMPARES )</b>						
<b>Icc/IL *</b>	<b>&lt; 11</b>	<b>11≤h≤17</b>	<b>17≤h≤23</b>	<b>23≤h≤35</b>	<b>h≤35</b>	<b>TDD</b>
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
<b>LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE (DESDE 69001 V HASTA 161000 V)</b>						
Máxima Distorsión Armónica de Corriente en Porcentaje de la Corriente Máxima de Carga (IL)						
<b>ORDEN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES ( IMPARES )</b>						
<b>Icc/IL *</b>	<b>&lt; 11</b>	<b>11≤h≤17</b>	<b>17≤h≤23</b>	<b>23≤h≤35</b>	<b>h≤35</b>	<b>TDD</b>
< 20	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
20-50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00
50-100	5.00	2.25	2.00	0.75	0.35	6.00
100-1000	6.00	2.75	2.50	1.00	0.50	7.50
> 1000	7.50	3.50	3.00	1.25	0.70	10.00
<b>LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE (MAYOR A 161 kV)</b>						
Máxima Distorsión Armónica de Corriente en Porcentaje de la Corriente Máxima de Carga (IL)						
<b>ORDEN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES ( IMPARES )</b>						
<b>Icc/IL *</b>	<b>&lt; 11</b>	<b>11≤h≤17</b>	<b>17≤h≤23</b>	<b>23≤h≤35</b>	<b>h≤35</b>	<b>THDI</b>
< 50	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
≥50	3.00	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75

**ICC:** Máximo nivel de cortocircuito en el punto de suministro.

**IL:** Corriente de carga en demanda máxima (fundamental) en el PCC.

**PCC:** Punto de Acoplamiento Común.

**ANEXO A3. NORMA IEEE Std 1159-1995.**

<b>IEEE Std 1159-1995 IEEE Recommended for Categories and Typical Characteristics of Power System Electromagnetic Phenomena</b>			
<b>Categories</b>	<b>Typical spectral content</b>	<b>Typical duration</b>	<b>Typical voltage magnitude</b>
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	<50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μs rise	50 ns-1ms	
1.1.3 Milisecond	0.1 ms rise	>1ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low Frequency	< 5kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Medium Frequency	5-500 kHz	20 μs	0-8 pu
1.2.3 High Frequency	0.5-MHz	5 μs	0-4 pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5-30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		30 cycles-3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles-3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s-1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 pu
3.0 Long Duration Variations			
3.1 Interruption, sustained		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Voltage Imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform Distortion			
5.1 DC Offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th H	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6 kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	Broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage Fluctuations	<25 Hz	intermittent	0.1-7%
7.0 Power Frequency Variations		<10s	

#### **ANEXO A4. RETIE**

<b>APLICACIÓN</b>	<b>VALORES MAXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA TIERRA</b>
ESTRUCTURA DE LINEAS DE TRANSMISION	20 $\Omega$
SUBESTACIONES DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN	1 $\Omega$
SUBESTACIONES DE MEDIA TENSIÓN	10 $\Omega$
PROTECCION CONTRA RAYOS	10 $\Omega$