



ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS

Medición de los parámetros eléctricos.

Con el fin de determinar qué disturbios ocurren en el instituto, y con base a esta información poder determinar sus posibles causas y soluciones, se realizó un monitoreo de parámetros eléctricos, efectuado del primero al quince de agosto de 2007, realizando mediciones en los tres transformadores principales que conforman la instalación del instituto, por lo que se utilizaron tres equipos de medición, los cuales fueron:

- Analizador de redes eléctricas y calidad de la energía marca AEMC, modelo 3945²⁷, conectado en el tablero general TG-1, que se alimenta del transformador 1 (750 kVA).
- Analizador de redes eléctricas y calidad de la energía marca CIRCUITOR²⁷, modelo AR5, conectado en el tablero general TG-2, que se alimenta del transformador 2 (1000 kVA).
- Analizador de redes eléctricas marca AMPROBE, modelo DM-PROII²⁷, conectado en el transformador 3 (500 kVA).

Entre otros parámetros el monitoreo proporciona información sobre la manera en que se utiliza la energía eléctrica en las instalaciones. Durante las dos semanas que duró el monitoreo únicamente se presentaron disturbios los días 1 y 2, en los días subsecuentes se observa un comportamiento que no presenta variaciones sobresalientes. Dentro de los parámetros monitoreados se encuentran, voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia y distorsión armónica total en tensión y en corriente.

²⁷ Las especificaciones de los equipos se encuentran en el apéndice D.



TG-1.

Para el monitoreo realizado en TG-1, el equipo de medición fue conectado después del interruptor Masterpact, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanes para medir la tensión.

Tensión.

En el IIB se tienen dos sistemas, uno es de 440 V entre fases y 254 V de fase a neutro en los transformadores TR-1 y TR-2 y de 220/127 V para TR-3.

IIB Tablero TG1, interruptor 3x1200 A, 1-2/08/2007
Variación de Voltaje

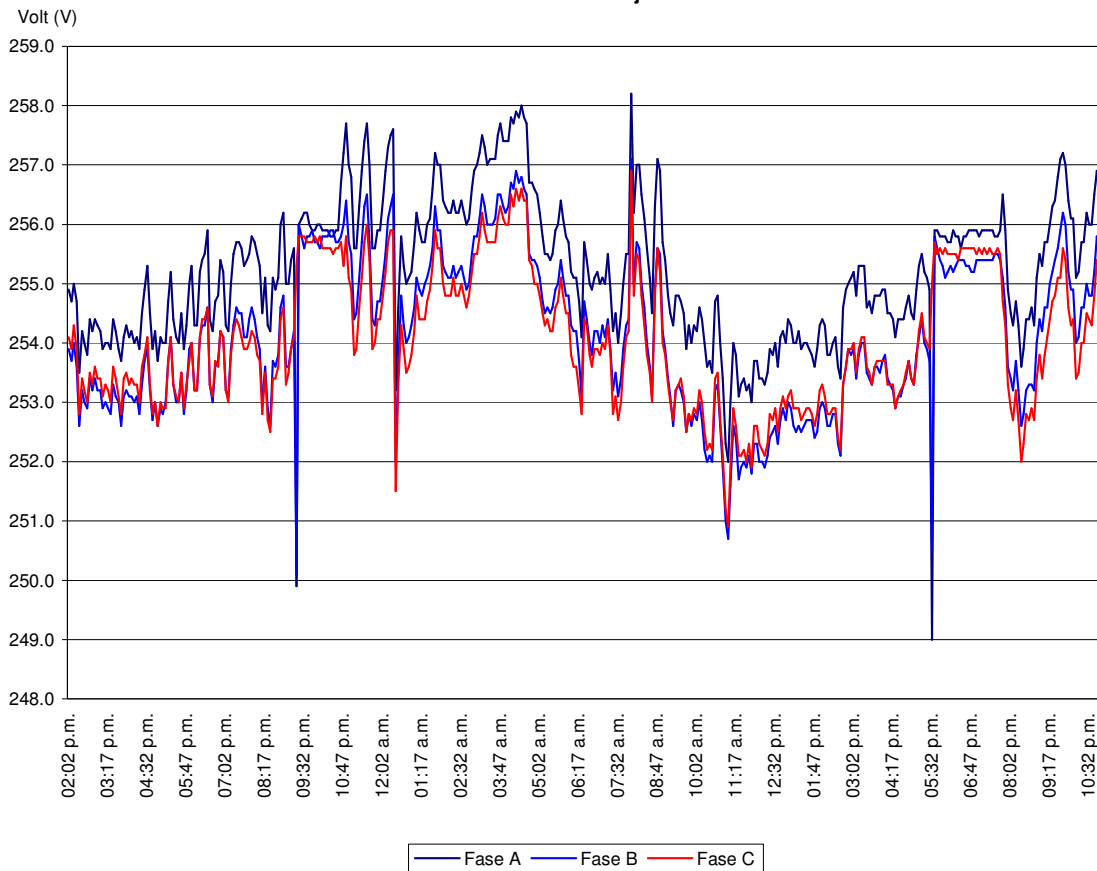


Fig. 4.1 Variación en la tensión presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.

En la figura 4.1 se observa que la tensión se encuentra dentro de los límites aceptables, presentando valores máximo y mínimo de 258.2 y 249.0 V respectivamente, ambos en la fase A. Como comportamiento anormal, únicamente se encuentran dos variaciones de tensión, presentándose a las 9:17 p.m. del día 1 y alas 5:32 p.m. del día 2, con valores de 250.1 y 249 V respectivamente, y ambas en la fase B. Aunque estas no pueden ser



considerados disturbios, porque no excedieron el 10% de variación, si son capaces de alterar el buen funcionamiento de los equipos, sobretodo los electrónicos. Al comparar esta gráfica con las correspondientes para TR-2 y TR-3, figuras 4.6 y 4.11 respectivamente, se observa que estas variaciones provienen de la red de suministro y no de la operación del sistema, porque se presentan en los tres transformadores, y no fueron acompañados de un incremento en la corriente.

El desbalance en tensión, promedio, es de 0.21%, lo que hace notar que no existe gran diferencia entre las fases, lo cual se debe a que el neutro del transformador se encuentra solidamente aterrizado, y aún cuando exista un desbalance en la carga, éste no afecta a la tensión. En la tabla 4.1 se presentan los valores de tensión más representativos para este periodo.

TENSIÓN (V).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	258.20	257.10	256.90
MÍNIMO	249.00	250.10	250.90
PROMEDIO	255.22	254.13	254.05

Tabla 4.01 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TG-1.

Corriente.

En la corriente se puede apreciar un comportamiento estable, sin demandas súbitas, notando que la demanda comienza a incrementarse alrededor de las 10:30 a.m., se mantiene constante en el transcurso del día, y desciende alrededor de las 8:00 p.m. a los valores mínimos, lo cual se puede apreciar en la figura 4.2, presentándose esta condición de forma cíclica, es decir, de lunes a viernes se presenta la misma demanda, en horarios muy similares, y manteniendo valores mínimos los fines de semana. La tabla 4.2 nos proporciona los valores: máximo, mínimo y promedio.

CORRIENTE (A).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	306.30	289.30	306.00
MÍNIMO	119.10	106.20	119.90
PROMEDIO	178.77	164.86	177.51

Tabla 4.2 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TG-1.

También se puede observar que al incrementar la demanda de corriente, la tensión disminuye, lo cual es un comportamiento normal ya que al aumentar la corriente se incrementa la caída de tensión en los alimentadores. Es importante resaltar que esta no solo se da en los alimentadores de los transformadores, sino que también es consecuencia



de la caída de tensión en el anillo que suministra energía a los mismos. De igual forma es notorio que la demanda es muy baja, considerando que se cuenta con un interruptor de 1200 A y que la demanda máxima fue de 306.3 A en la fase A. Como se mencionó anteriormente, la gráfica de corriente no muestra correlación entre los eventos de tensión y la corriente, lo cual indica que los abatimientos de tensión no fueron provocados por la propia carga del circuito, sino que provienen del lado suministrador. Como se mencionó en el primer capítulo los abatimientos de tensión son de los disturbios que se presentan con mayor frecuencia.

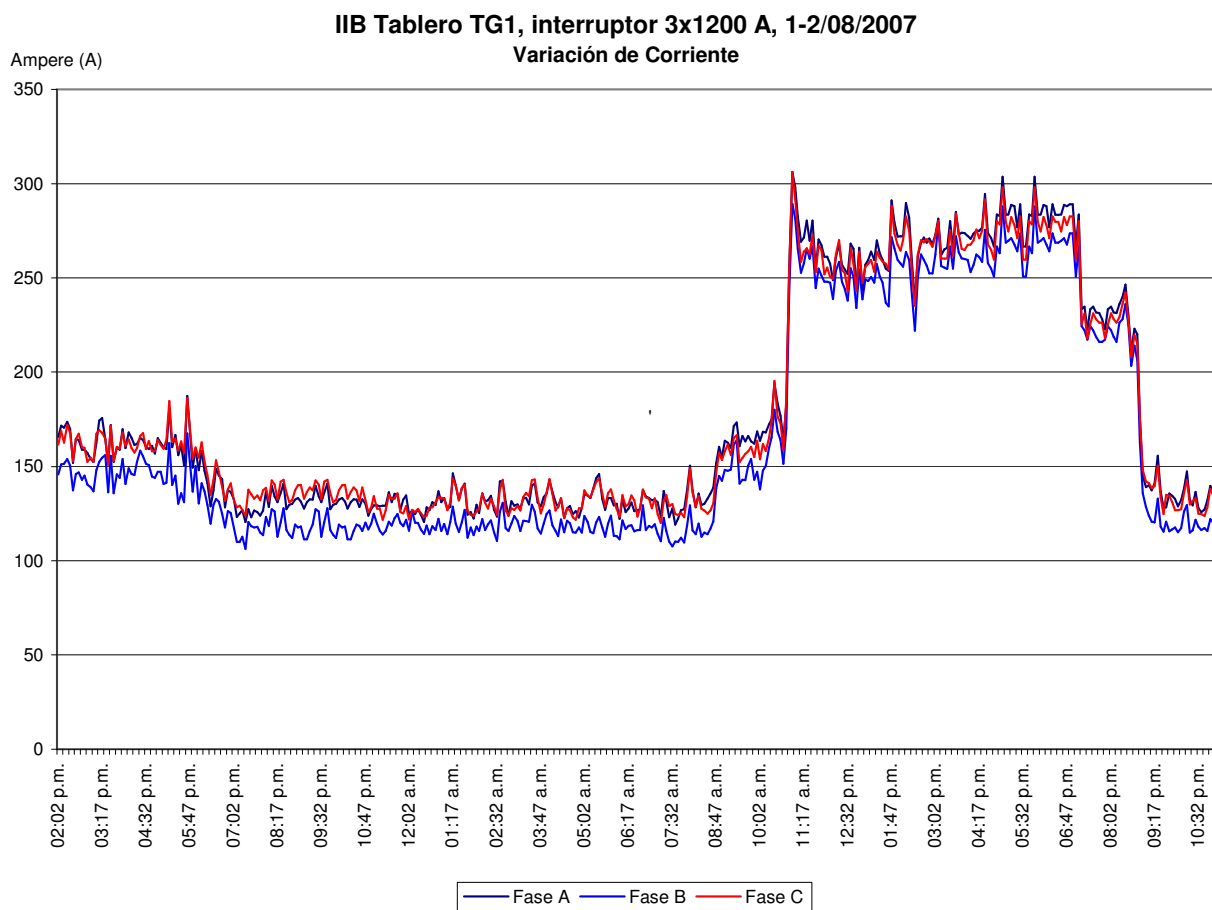


Fig. 4.2 Variación en la corriente presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.



Factor de potencia.

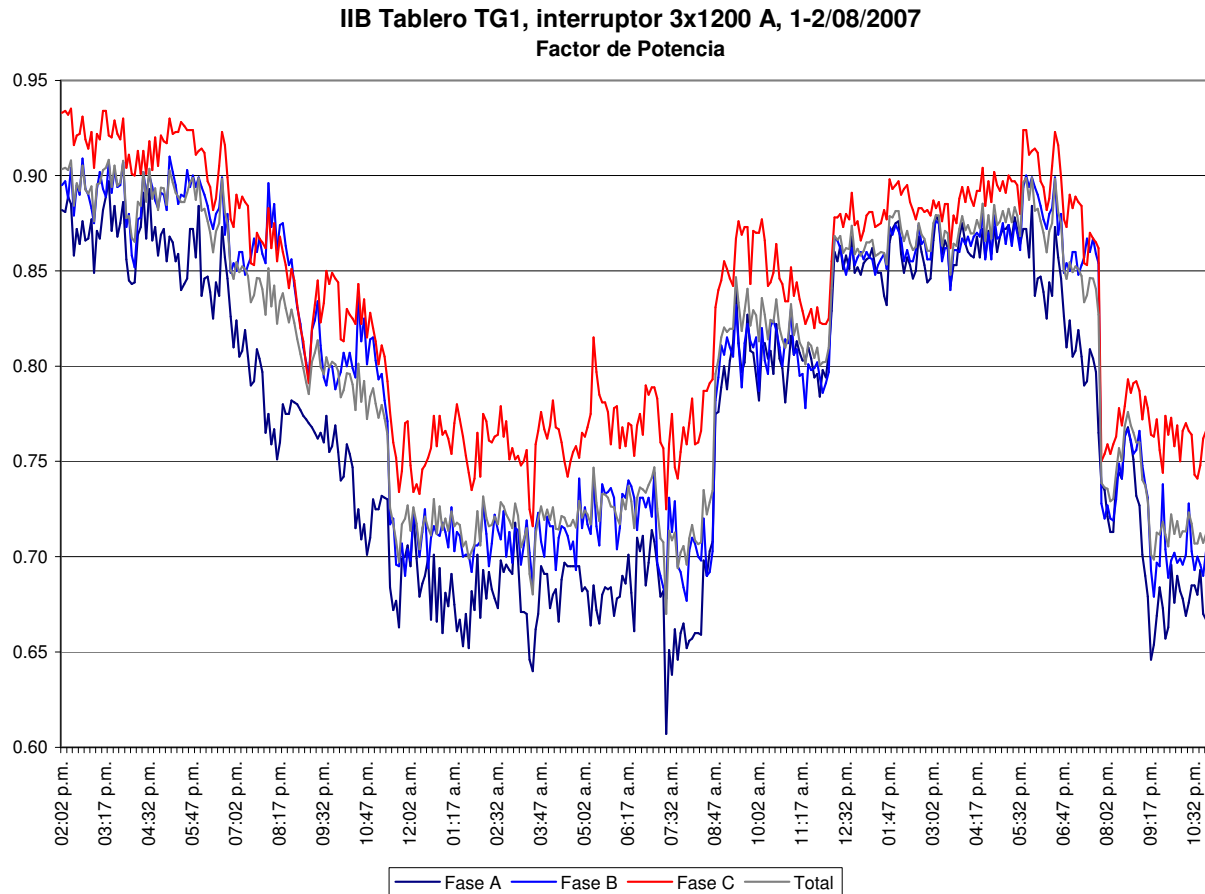


Fig. 4.3 Variación en el factor de potencia presentado en TG-1 del 1 al 2 de agosto.

Con respecto al factor de potencia, un inconveniente que se presenta es que es muy bajo, de 0.8 en promedio, y que incluso llega a ser de 0.65, lo cual ocurre en los periodos de menor demanda, haciendo notar que la carga conectada de manera permanente provoca una disminución importante en el fp, la cual consiste principalmente de equipos de iluminación y cómputo, que tienen una mayor concentración en las fases A y B. Es importante que se tomen medidas para la corrección de este factor, ya que con los valores registrado (0.8 en promedio) durante el monitoreo, se debe estar pagando cargo por bajo factor de potencia. En la figura 4.3 se puede observar este comportamiento, y al compararla con la figura 4.2 se observa que en los periodos de menor demanda es cuando se presenta el factor de potencia menor.



Frecuencia.

La frecuencia se encuentra dentro de márgenes bastante aceptables, presentando un valor máximo de 60.14 Hz y un mínimo de 59.79 Hz, y según el reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica se debe mantener entre 60.48 y 59.52 Hz; es importante hacer notar que en los mismos momentos en que se registraron las disminuciones de tensión, se registran disminuciones de frecuencia, lo cual puede ser asociado a que como estas variaciones provienen de la red de suministro, la tensión disminuyó, por lo que la demanda aumentó, lo que al mismo tiempo provocó una disminución en la frecuencia.

IIB Tablero TG1, interruptor 3x1200 A, 1-2/08/2007

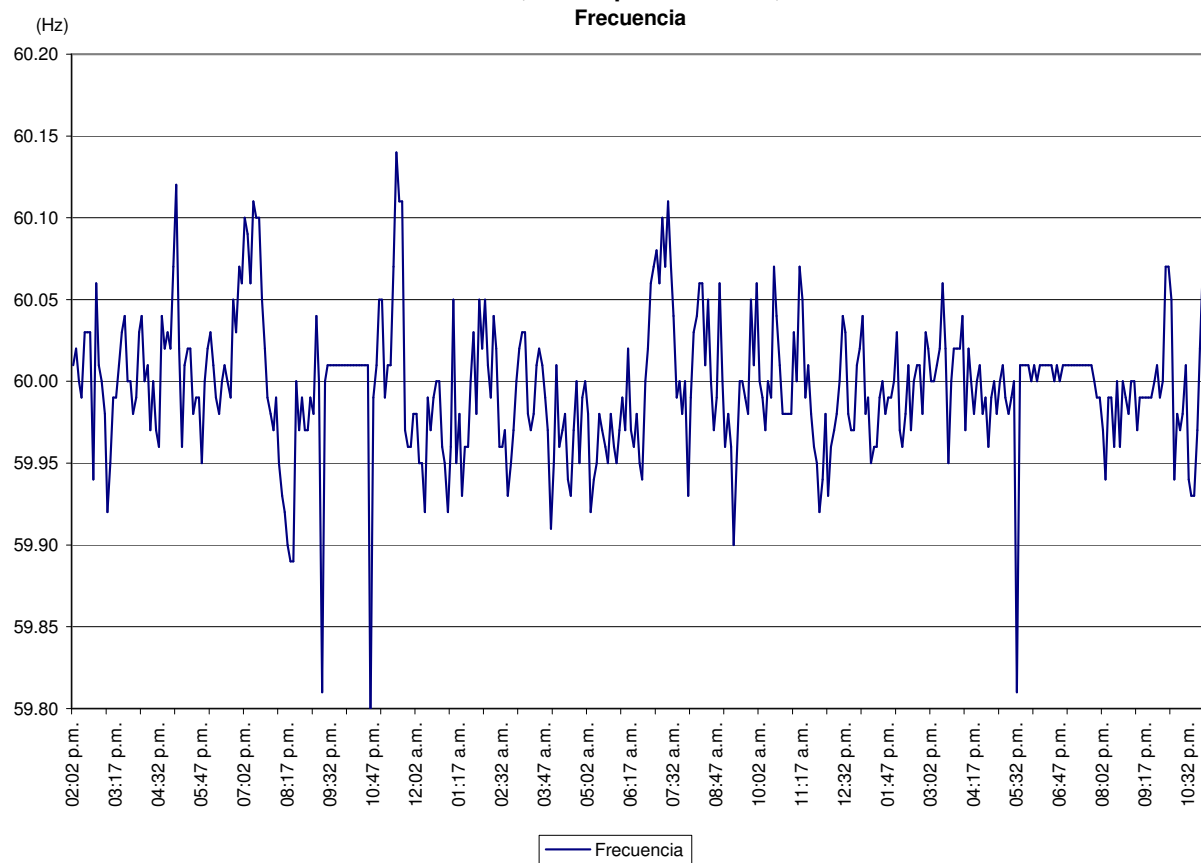


Fig. 4.4 Variación en la frecuencia presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.



Distorsión armónica total en corriente.

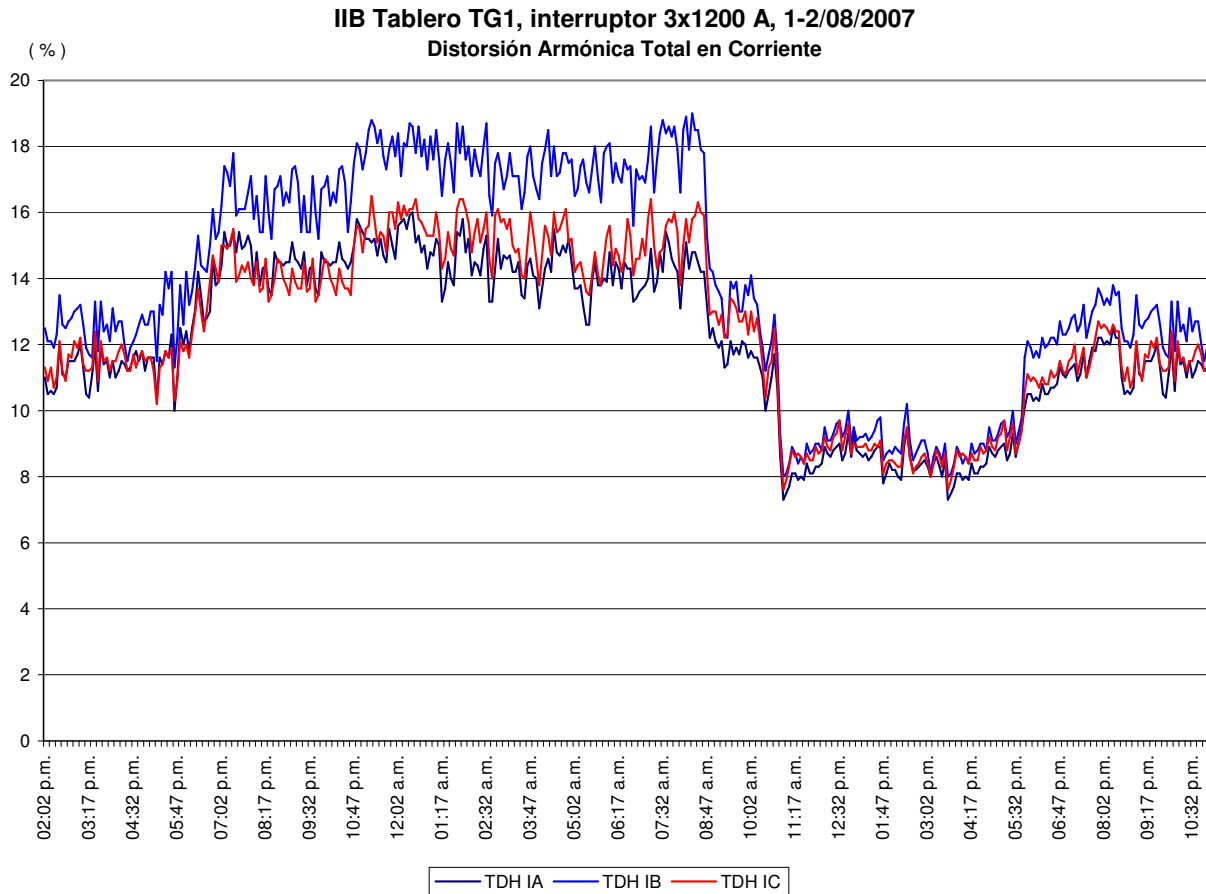


Fig. 4.5 Distorsión armónica total en corriente.

Para determinar en que rango se encuentra la DATC se calculó la corriente de corto de circuito por el método de bus infinito, obteniendo los siguientes valores:

$$I_{cc} = I_{sec} \left(\frac{100}{z\%} \right)$$

$$I_{sec} = \frac{KVA}{\sqrt{3}KV}$$

Sustituyendo valores :

$$I_{sec} = \frac{750}{\sqrt{3}(0.44)} = 984.12A$$

$$I_{cc} = 984.12A \left(\frac{100}{5.75} \right) = 17,115.13$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{17115.13}{300.53} = 56.95$$



A diferencia de la tensión, corriente y frecuencia, la distorsión armónica total en corriente presenta valores bastante elevados, alcanzando valores hasta de 18%, valor que se encuentra por arriba del límite establecido por CFE L0000-45²⁸, que como se puede apreciar en el apéndice E, para $50 \leq I_{cc}/I_L \leq 100$ es de 12%. Se trata de un valor muy alto y que presenta un comportamiento inverso al de la demanda de corriente, esto es, se eleva en los momentos en que la corriente disminuye, porque al disminuir la componente fundamental y mantenerse conectadas cargas no lineales como computadoras, servidores, y en general elementos de electrónica y rectificación, se incrementa el valor de las componentes armónicas. La fase con mayor contenido armónico es la B, con valores superiores en casi 2% a los presentados en las fases A y C.

TG-2.

Para el monitoreo realizado en TG-2, el equipo de medición fue conectado después del interruptor Masterpact, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanes para medir la tensión.

Tensión.

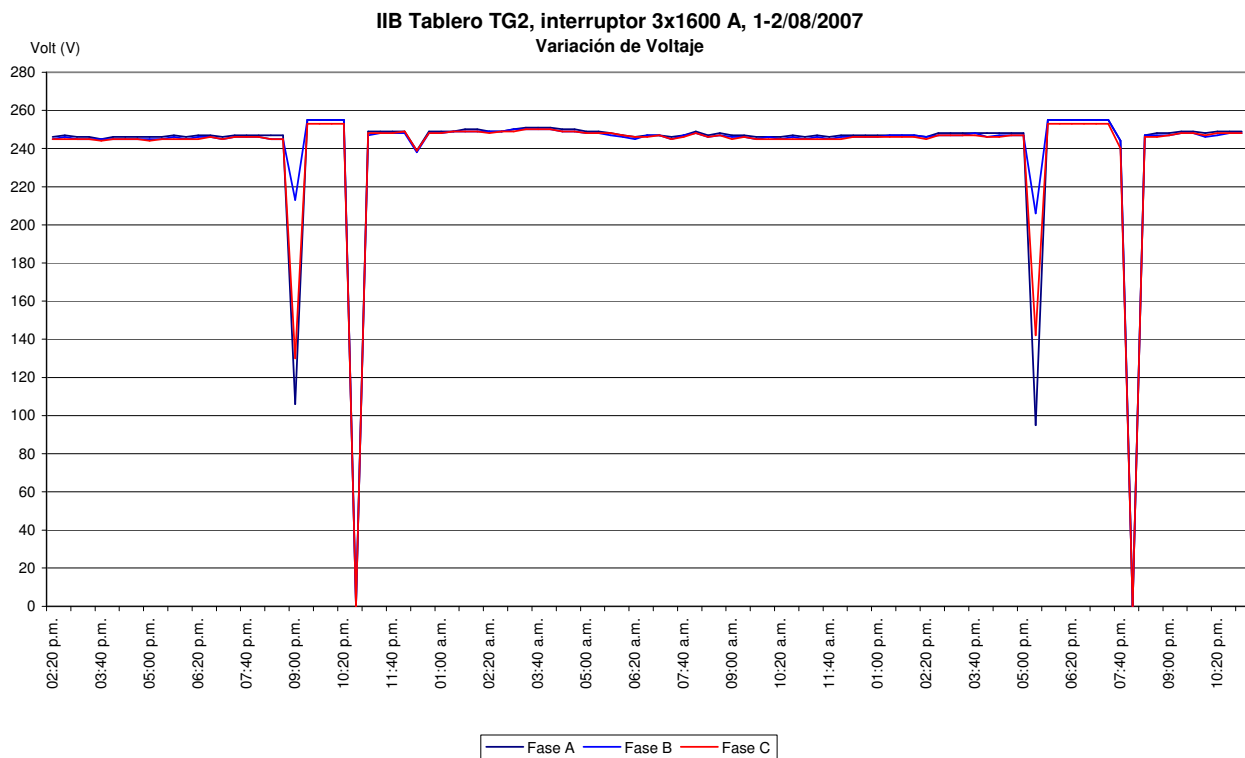


Fig. 4.6 Variación en la tensión presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

²⁸ CFE L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica.



Para este monitoreo se presentaron cuatro disturbios de consideración, dos bajos voltajes y dos interrupciones. Sucediendo los bajos voltajes a las 9:00 p.m. y a las 5:20 p.m. de los días 1 y 2, representando un 41.7 y 37.4% del valor de tensión nominal respectivamente, mientras que las interrupciones sucedieron a las 10:40 p.m. y a las 8:00 p.m. en los mismos días que los bajos voltajes, con una duración promedio de 40 minutos. Comparando esta gráfica con la respectiva en corriente se puede aseverar que dos de los disturbios fueron provocados por la operación de la carga dentro de la instalación, ya que fueron acompañados por incrementos significativos en la demanda de corriente provocando que la tensión disminuyera. Mientras que los otros dos como se mencionó anteriormente provienen del suministro. Para el caso de las interrupciones, la demanda fue tan fuerte que provocó la operación del interruptor. Exceptuando estas condiciones, la tensión presenta un comportamiento estable, lo que se puede apreciar en el desbalance máximo de tensión que se presenta que es de 1.2% en la fase B, y un promedio de 0.2%.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores: máximo, mínimo y promedio de tensión que se presentaron durante el periodo de monitoreo.

	TENSIÓN (V).		
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	255.00	255.00	253.00
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	240.29	241.74	239.87

Tabla 4.3 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TG-2.



Corriente.

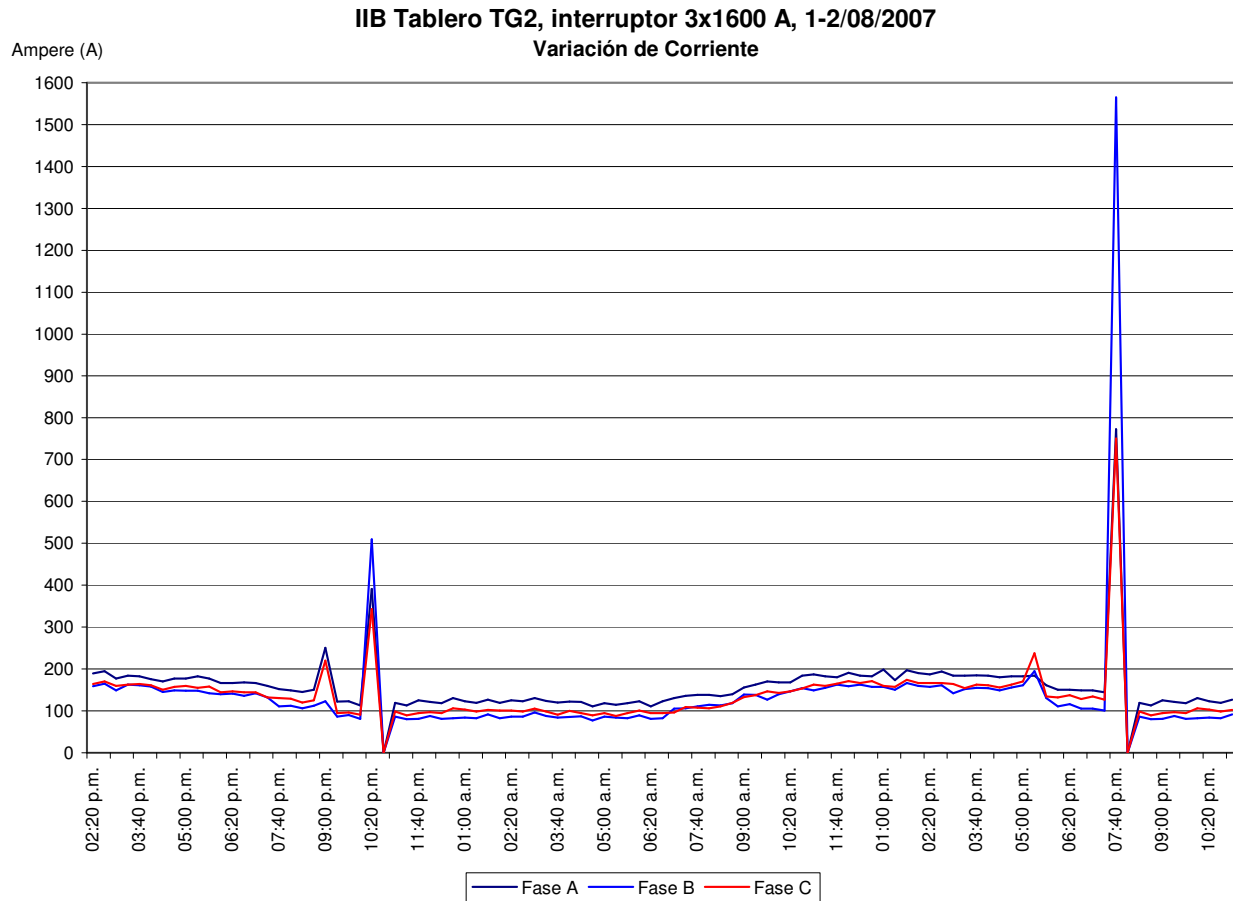


Fig. 4.7 Variación en la corriente presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

Se puede apreciar un incremento normal de la demanda en los horarios laborales, a partir de las 10:00 a.m. y que disminuye a partir de las 7:00 p.m. Las dos demandas súbitas que provocaron los bajos voltajes y las interrupciones aparecen en el mismo momento que estos. Las interrupciones fueron causadas porque las demandas presentaron valores muy elevados y por un periodo de tiempo prolongado que provocaron el disparo del interruptor principal, en el cual se debe revisar el ajuste de disparo, ya que aunque el interruptor es de 1600 A y operó a 1565, este valor debe disminuir, porque la corriente nominal del transformador del lado del secundario es de 1312 A. Esto provocó que se interrumpiera el suministro hasta que el mismo fue restablecido manualmente. Lo anterior fue provocado por la operación en conjunto de diversos motores, ya que son estas cargas las que demandan de cinco a siete veces su corriente nominal durante el arranque. En corriente se encuentra un desbalance mayor, siendo de 12%. Es de suma importancia solucionar el



problema de la operación del interruptor, ya que este se presenta en condiciones normales de operación y provoca que la instalación quede sin tensión.

CORRIENTE (A).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	773.00	1565.00	750.00
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	157.85	135.37	135.73

Tabla 4.3 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TG-2.

Factor de potencia.

En este tablero no existe el problema de tener un fp bajo, ya que como se puede observar, el fp total es de .93, que se encuentra por arriba de 0.9, y aunque el de la fase C no lo esté el que es considerado por las compañías suministradoras para el cobro de cargos es el total. Como es de esperarse en los momentos de las interrupciones el fp, cae súbitamente hasta cero lo cual se aprecia en la figura 4.8.

IIB Tablero TG2, interruptor 3x1600 A, 1-2/08/2007
Factor de Potencia

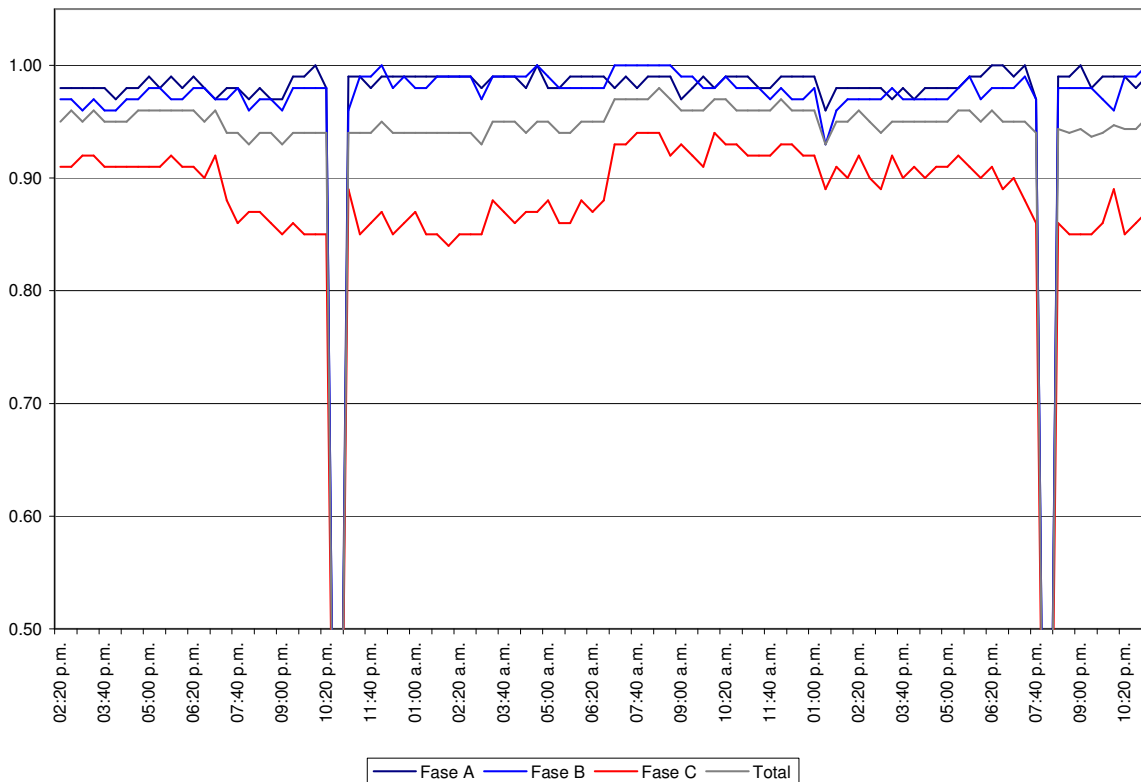


Fig. 4.8 Variación en el factor de potencia presentado en TG-2 del 1 al 2 de agosto.



Frecuencia.

Para TG-2 la frecuencia sobrepasa los límites establecidos por el reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica, solo en los momentos en que se presentan las dos interrupciones, y del mismo modo ésta se va a cero hasta que se restablece el interruptor. Presentando valores máximos y mínimos de 60.1 y 59.9 respectivamente, en los momentos en que no se presentan las interrupciones. (ver figura 4.9).

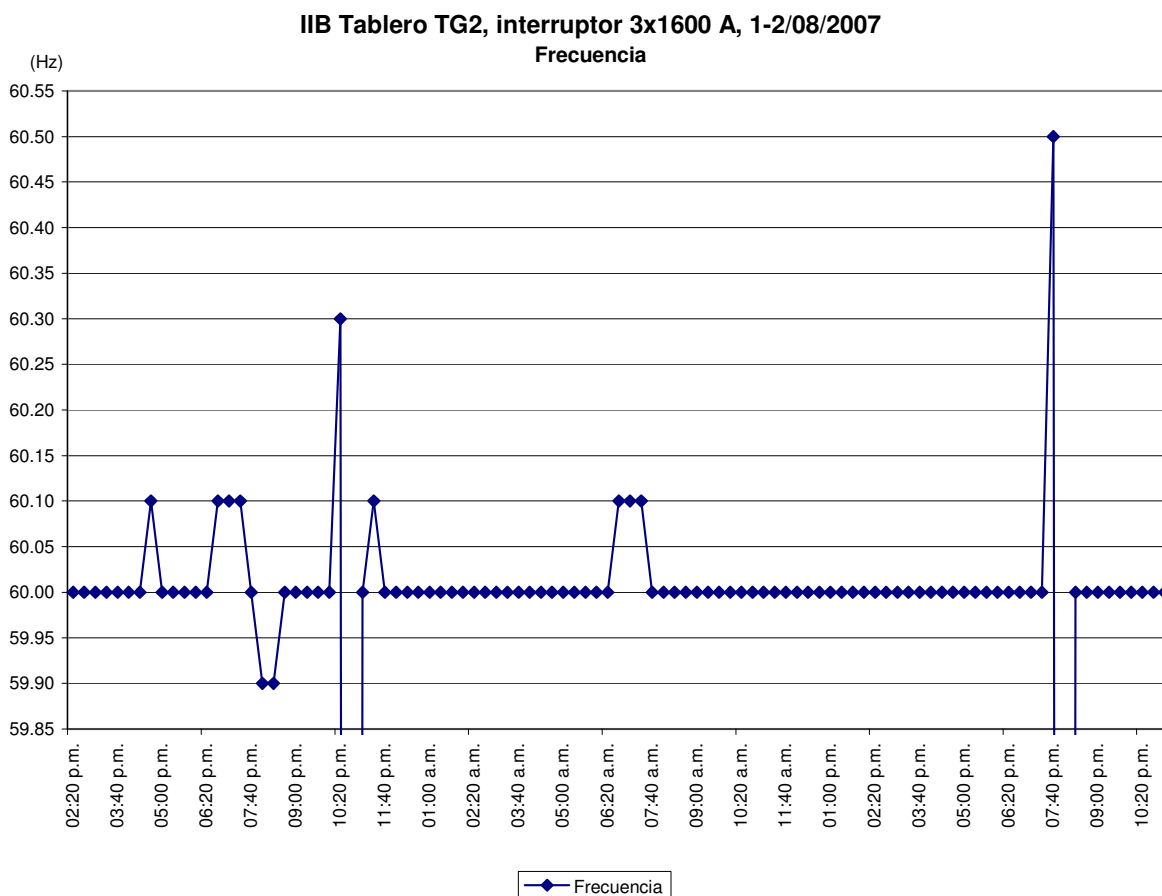


Fig. 4.9 Variación en la frecuencia presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

Los puntos más altos de la frecuencia (60.3 y 60.5 Hz) se presentan en los momentos de operación de la planta de emergencia.



Distorsión armónica total en tensión (DATT).

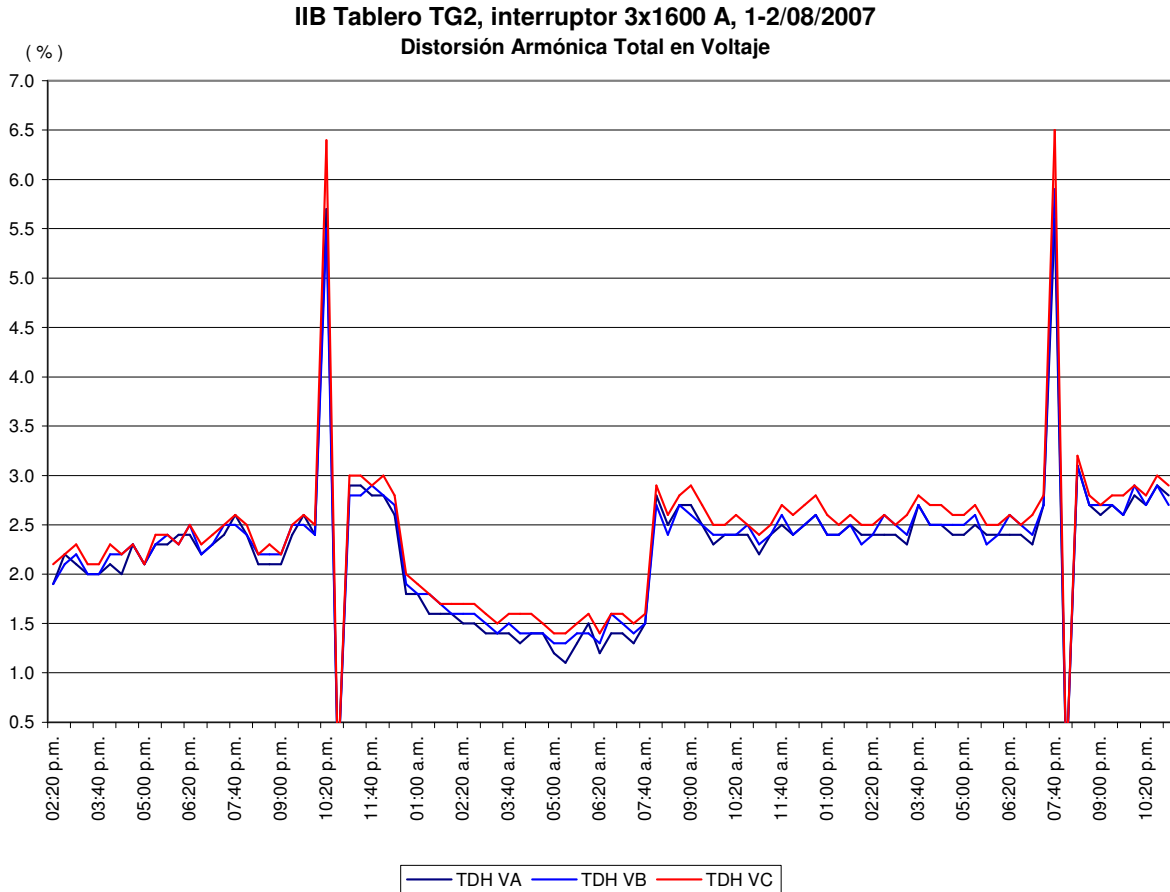


Fig. 4.10 Distorsión armónica total en tensión en TG-2.

En este caso la distorsión armónica en corriente presentó valores inferiores a los límites sugeridos, mientras que la DATT presenta valores por encima del límite establecido por las recomendaciones el STDD IEEE 519-1992, que es de 5% para sistemas con tensiones menores a 69 kV, aunque solo se presentan en los momentos de las dos interrupciones. Se aprecia que la distorsión presenta un comportamiento similar al de la demanda, esto es, en los momentos en que aumenta la demanda de corriente, que es en horarios laborales, la distorsión también aumenta, lo que debe ser provocado por la operación de equipamiento electrónico en el instituto.



Para determinar en que rango se encuentra la DATC se calculó la corriente de corto de circuito por el método de bus infinito, obteniendo los siguientes valores:

$$I_{cc} = I_{sec} \left(\frac{100}{z\%} \right)$$

$$I_{sec} = \frac{KVA}{\sqrt{3}KV}$$

Sustituyendo valores :

$$I_{sec} = \frac{1000}{\sqrt{3}(0.44)} = 1312.16A$$

$$I_{cc} = 1312.16 \left(\frac{100}{5.75} \right) = 22,820.17$$

$$I_{cc}/I_L = 22820.17 / 1029.3 = 22.16$$

Por lo que se cae en el mismo rango de TR-1, donde el límite máximo permitido para la DATC es de 8.0% , y se presentaron valores máximos de 6.0%



TR-3.

Para el monitoreo realizado en TR-3, el equipo de medición fue conectado en el bus de baja tensión del transformador, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanos para medir la tensión.

Tensión.

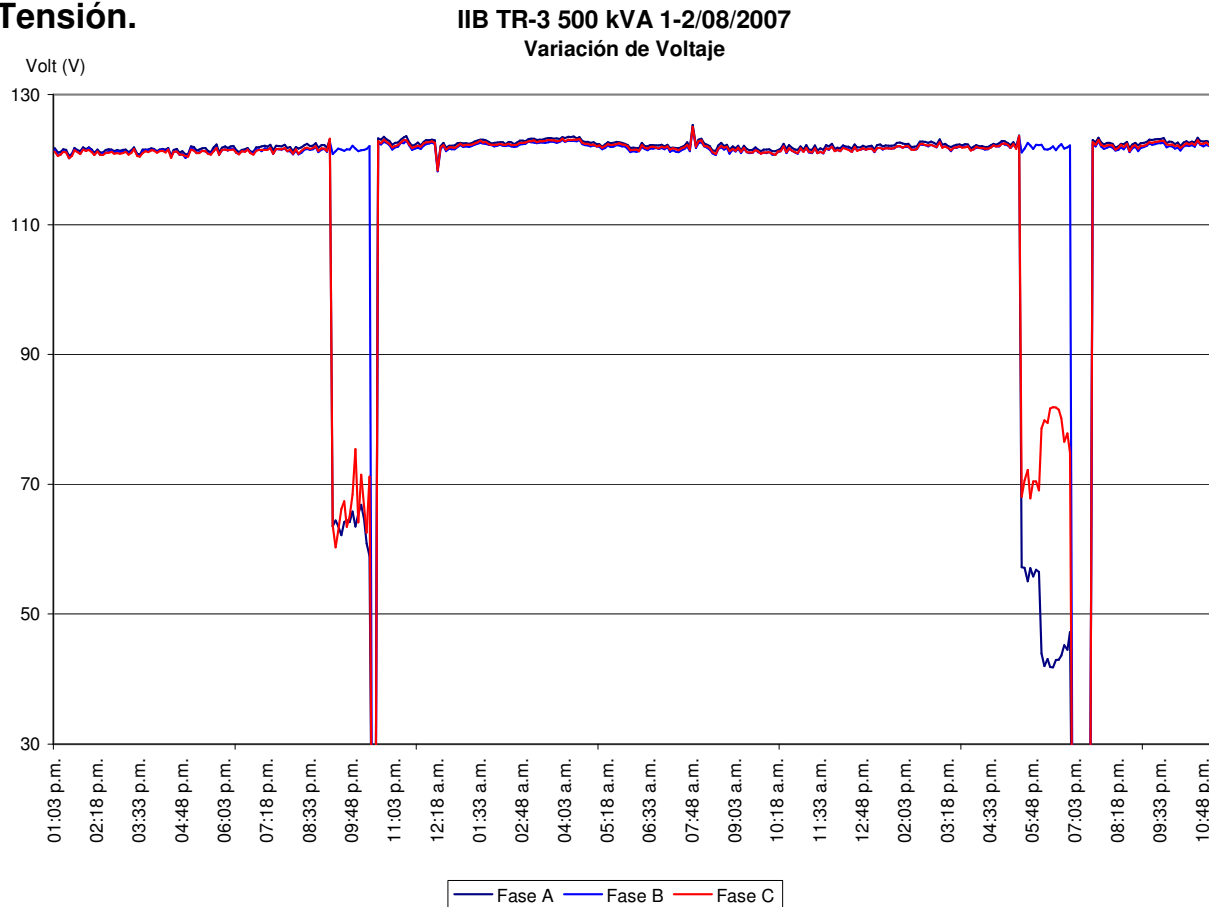


Fig. 4.11 Variación en la tensión presentada en TR-3 del 1 al 2 de agosto.

En TR-3 se observan dos bajos voltajes en las fases A y C, y que terminan por convertirse en interrupciones. El primer bajo voltaje se presentó el día 1 a partir de las 9:18 p.m. y hasta las 10:13 p.m. presentando una tensión promedio de 60 V, y el segundo se presentó el día 2 de las 5:43 a las 6:58. p.m. con tensiones alrededor de 77 V. Como se mencionó, después de los bajos voltajes se presentaron interrupciones, teniendo una duración de veinte minutos la del día 1, y de una hora la del día 2. Se puede concluir que esta falla provino del sistema de suministro, ya que no se vio acompañada de incrementos en la demanda de corriente, y se presentó en los tres transformadores.



Es importante hacer notar que al estar conectados en anillo los tres transformadores del instituto, las interrupciones debieron haber sido presentadas en todos, pero no fue así debido a que en TG-1 y TG-2 la planta de emergencia se encuentra antes de los tableros, por lo que al detectar la condición de falla, operaron los interruptores de transferencia y las plantas tomaron la carga, mientras que en TR-3 la planta se encuentra respaldando solamente al UPS-SV, por lo que sí fue registrada la falla y los equipos sintieron las consecuencias de la misma. Se presenta un desbalance de tensión promedio de 3.3%, el cual, a pesar de ser alto, no excede los límites máximos permitidos, aunque en los momentos de los bajos voltajes se presenta un desbalance de hasta el 50%.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores: máximo, mínimo y promedio de tensión que se presentaron durante el periodo de monitoreo.

TENSIÓN (V).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	125.34	124.88	125.02
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	113.90	118.74	114.86

Tabla 4.4 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TR-3.

Corriente.

La corriente, de igual forma que en TG-1 y TG-2 presenta un comportamiento característico de los centros de trabajo, aumentando durante el día y disminuyendo a partir de las 7:00 p.m., permaneciendo en los valores mínimos los fines de semana. Como se mencionó, no se presentan demandas repentinas que pudiesen haber provocado las bajas tensiones y las interrupciones, por el contrario presenta un comportamiento muy similar a la tensión, es bajo esta consideración que se determina que los disturbios se presentaron en el lado de la fuente. Se presentó un desbalance promedio de 13.1%, y los datos: máximo, mínimo y promedio se presentan en la siguiente tabla.

CORRIENTE (A).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	125.34	124.88	125.02
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	113.53	118.42	114.51

Tabla 4.5 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TR-3.

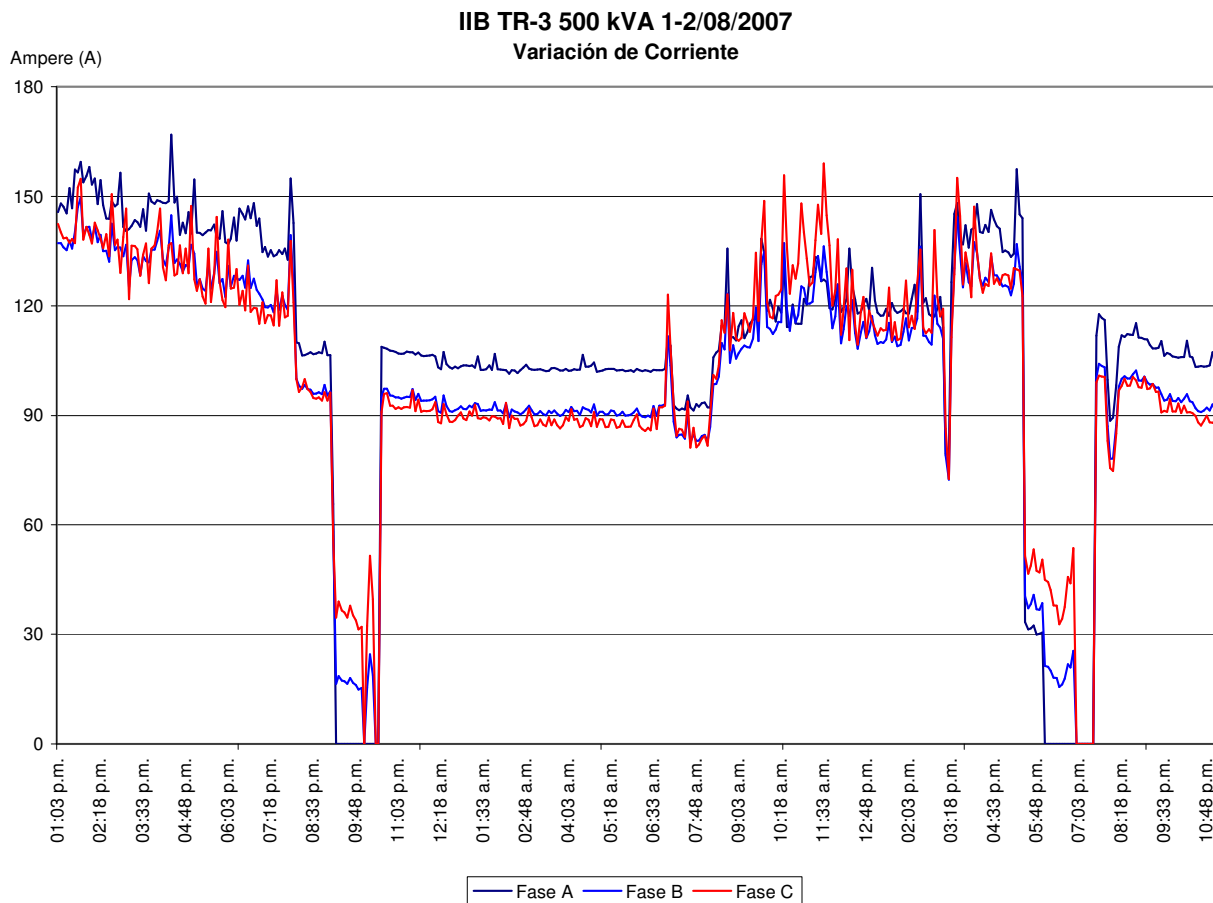


Fig. 4.12 Variación en la corriente presentada en TR-3 del 1 al 2 de agosto.

En la gráfica se puede observar que las corrientes disminuyen de igual forma que las tensiones, por lo que se concluye que la falla provino del suministro y no de ña operación de la carga conectada.



Factor de potencia (fp).

El factor de potencia es bastante bajo, presenta un valor promedio de 0.8, lo cual tiene consecuencias en el cargo por bajo fp. De igual forma que en los casos anteriores, el fp sigue a la demanda de corriente, cuando esta aumenta el factor también lo hace, por lo que los valores mínimos se presentan en los periodos de inactividad en el instituto.

El comportamiento del factor de potencia se puede apreciar en la figura 4.13.

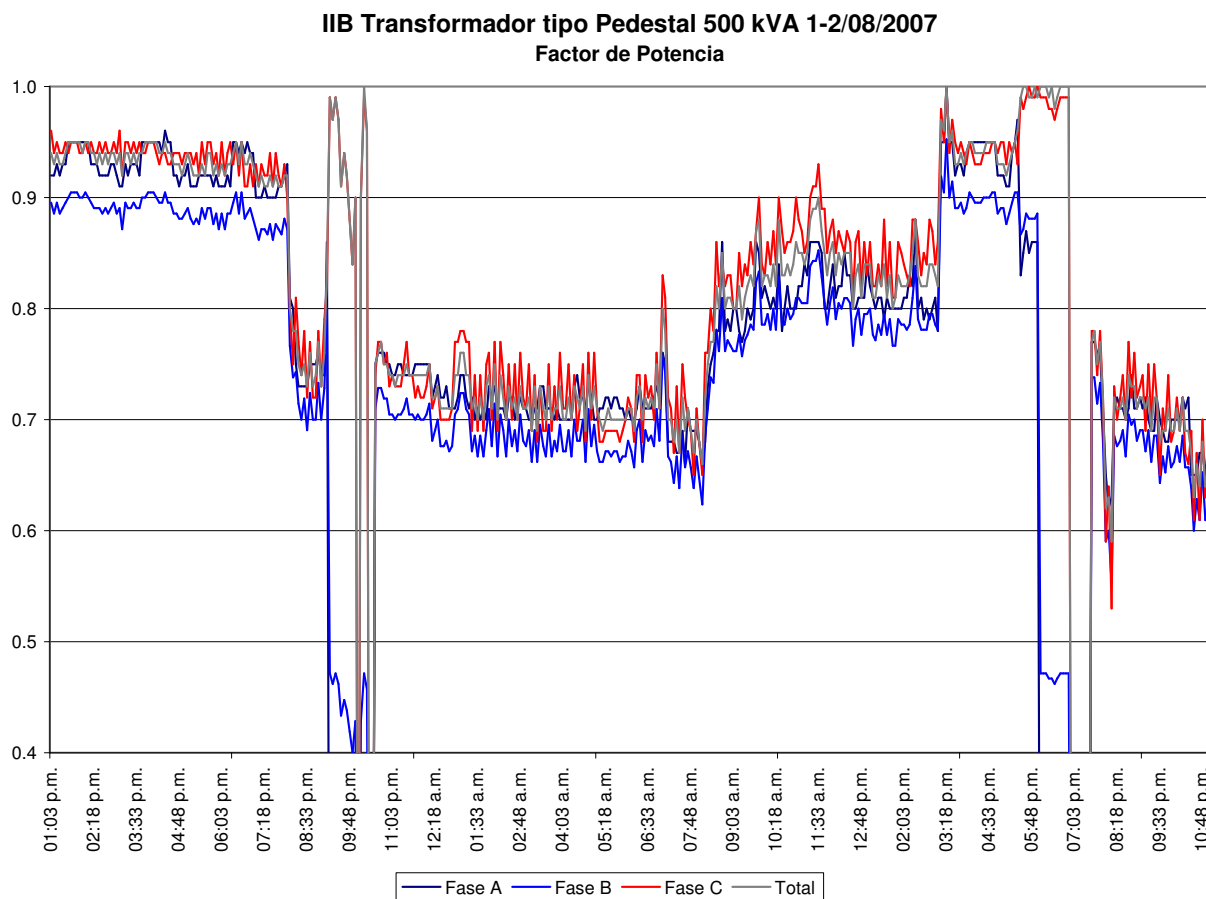


Fig. 4.13 Variación en el factor de potencia presentado en TR-3 del 1 al 2 de agosto.



Análisis de disturbios de corta duración.

Debido a que los principales disturbios generados dentro de la instalación, se presentaron en el tablero TG-2, se realizó un segundo monitoreo en dicho tablero del 16 al 21 de agosto, con el equipo analizador de calidad de energía marca AEMC modelo 3945, pero en esta ocasión se programó dicho equipo para que registrara los disturbios de corta duración y de esta manera poder observar más claramente el comportamiento de las señales en la instalación.

En el periodo de muestreo se registraron ochenta disturbios, de los cuales se muestra la distribución en la siguiente tabla:

Disturbio	No.	Duración (ms)
Transitorios	31	1
Oscilatorio	6	4
Sag	8	50
Desbalance	5	32
Distorsión armónica en tensión	27	50
Interrupción	3	16.65
Total	80	

Tabla 4.5 Distribución de los disturbios presentados en TG-2 del 16 al 21 de agosto.

Como se mencionó en el primer capítulo los disturbios más frecuentes son las depresiones de corta duración (sags), los cuales generalmente provienen del suministro por condiciones de falla en las líneas, corto circuitos o descargas atmosféricas, principalmente.

A continuación se muestran los gráficos más representativos para cada uno de los tipos de disturbios presentados.



Transitorios.

En las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 se muestra la presencia de transitorios en la señal de tensión, así como sus correspondientes señales de corriente.

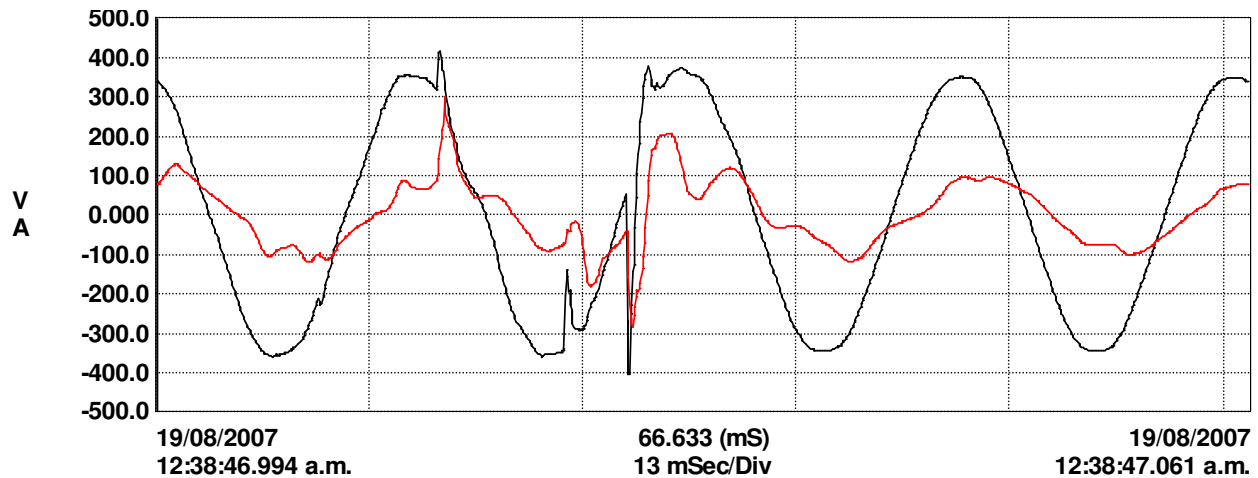


Fig. 4.14 Tension y corriente en fase A del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

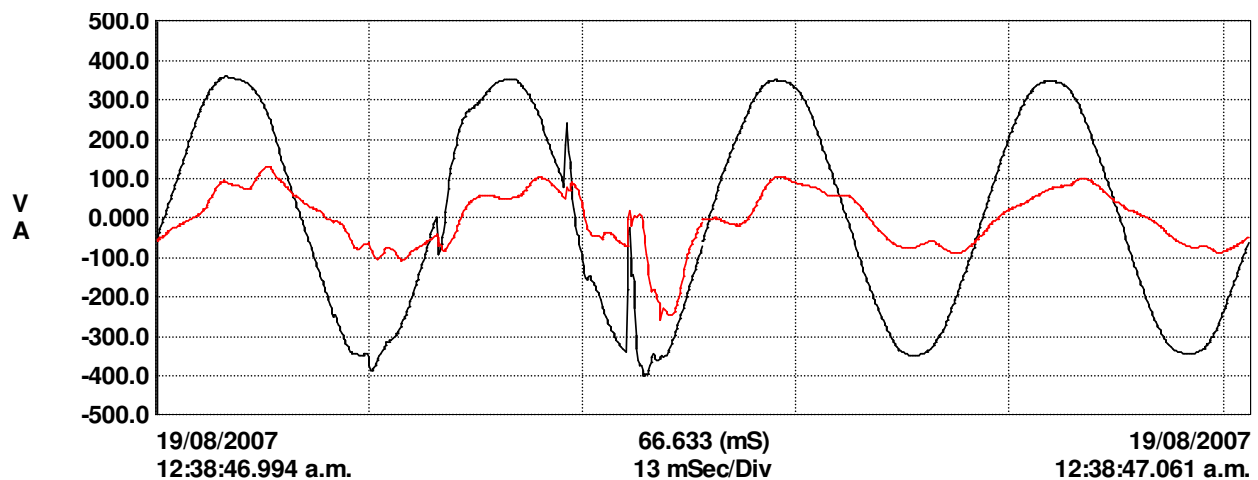


Fig. 4.15 Tension y corriente en fase B del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

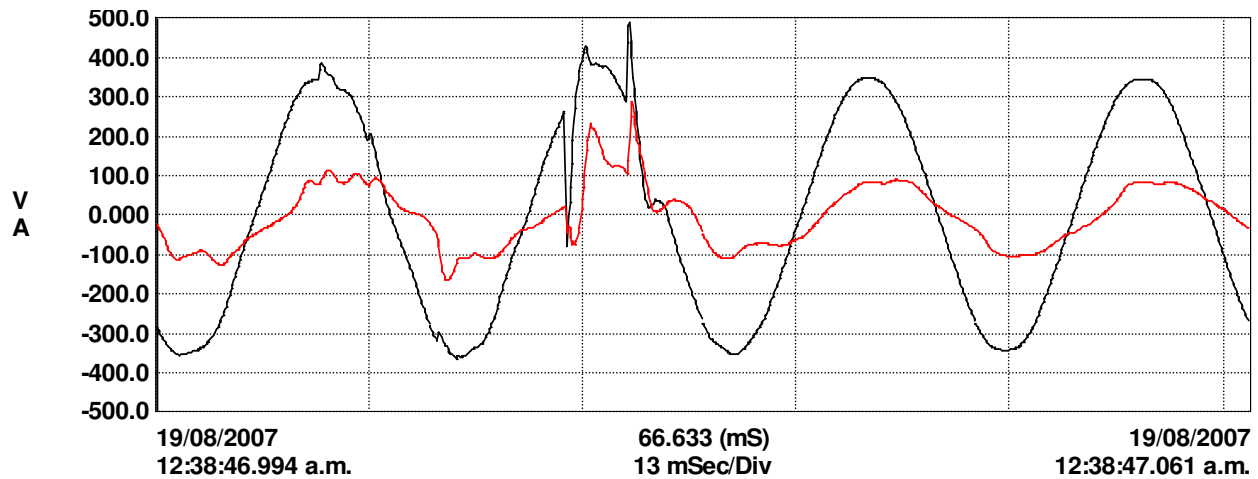


Fig. 4.16 Tension y corriente en fase C del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

Se puede apreciar que los transitorios presentan polaridad opuesta a la forma de onda. Haciendo una comparación con la tensión, durante el disturbio, se puede observar que en los instantes en que se presentan los transitorios la corriente, presenta la misma variación en polaridad que la tensión, por lo que se concluye que los disturbios provienen del lado del suministro.

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestra el contenido armónico en las señales de tensión y de corriente respectivamente, presentados durante el disturbio.

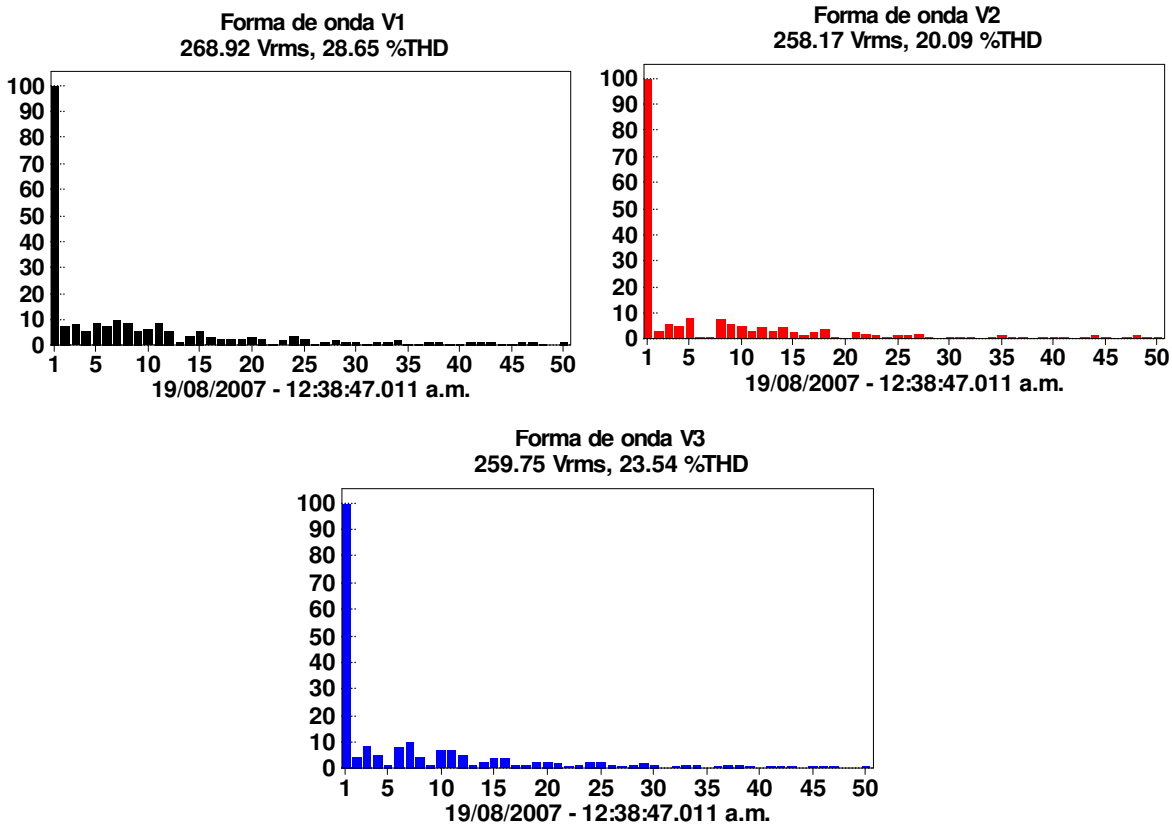


Fig. 4.17 Contenido armónico en las señales de tensión.

Las señales cuentan con un contenido armónico elevado; como se puede apreciar en el apéndice E, el límite recomendado por CFE para tensiones menores a 1 kV es de 8%, y en las tres ondas se presentan valores muy superiores, del orden del 20%, aunque cabe mencionar que estos límites son para estado estacionario y no aplican para fenómenos transitorios. La corriente de igual forma presenta distorsión por arriba del límite recomendado, que es de 12%, ya que se encuentra en el rango de $50 < ICC/IL < 100$ como se demostró anteriormente, y presenta valores del orden de 50%, aunque es normal que esto ocurra, pues los valores se están tomando justo en los momentos en que se presentan los disturbios y es en estos cuando la presencia de armónicas aumenta considerablemente. El tener presencia de armónicas de orden par, indica que existe presencia de corriente directa en el sistema, es consecuencia de la asimetría del transitorio.

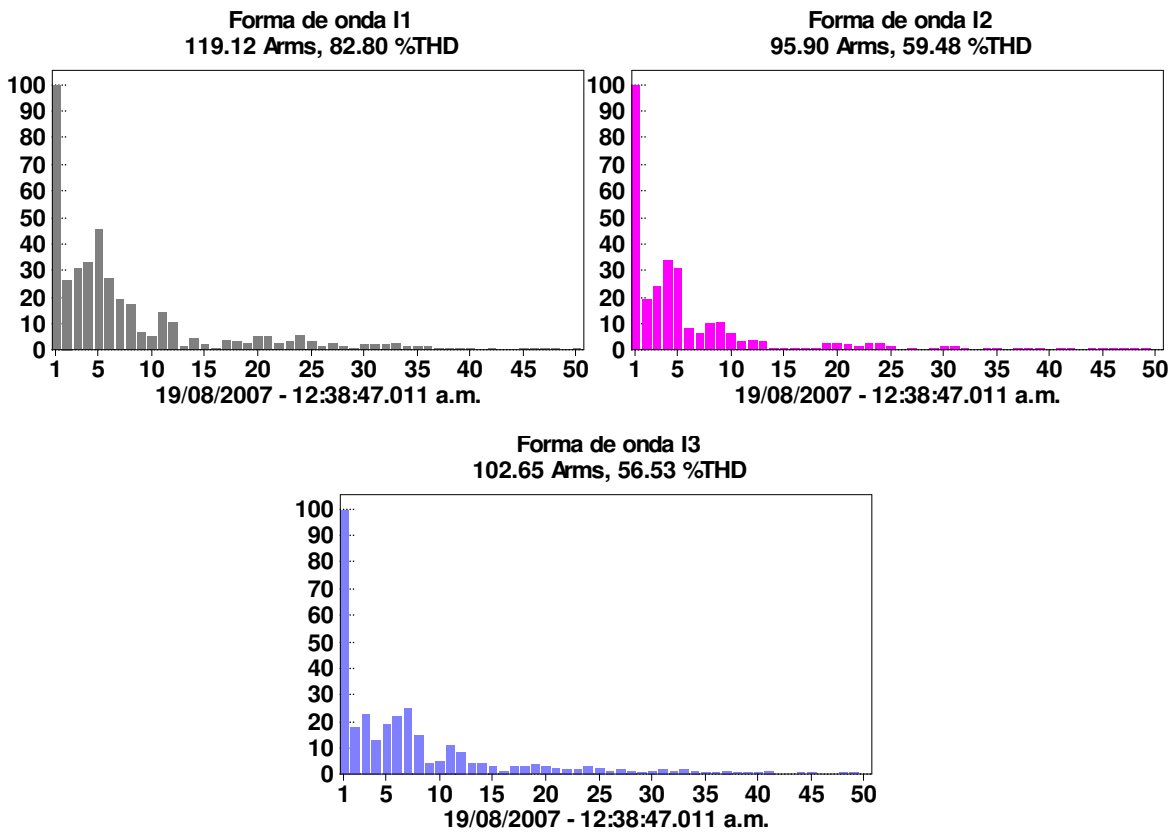


Fig. 4.18 Contenido armónico en las señales de corriente.

Sag y oscilatorio.

El siguiente oscilatorio se presentó después de un sag, en el momento en que el sistema intenta retomar carga.

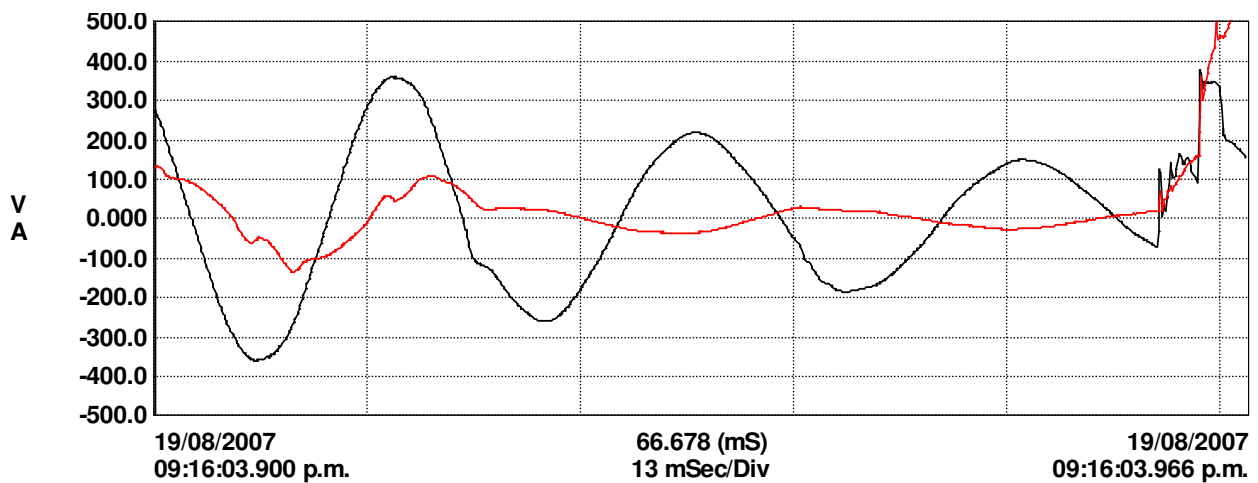


Fig. 4.19 Tension y corriente en fase A durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

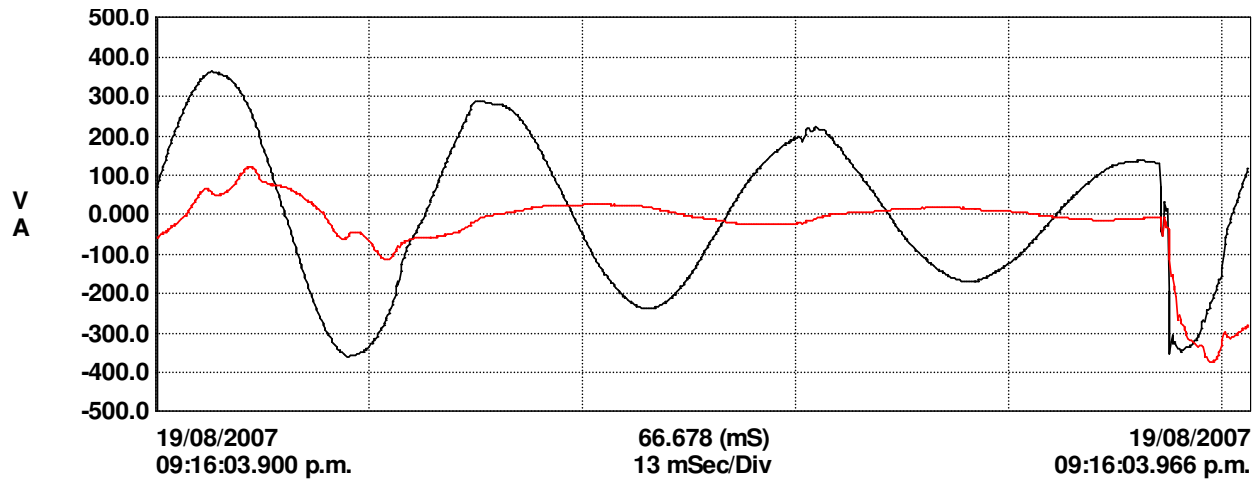


Fig. 4.20 Tension y corriente en fase B durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

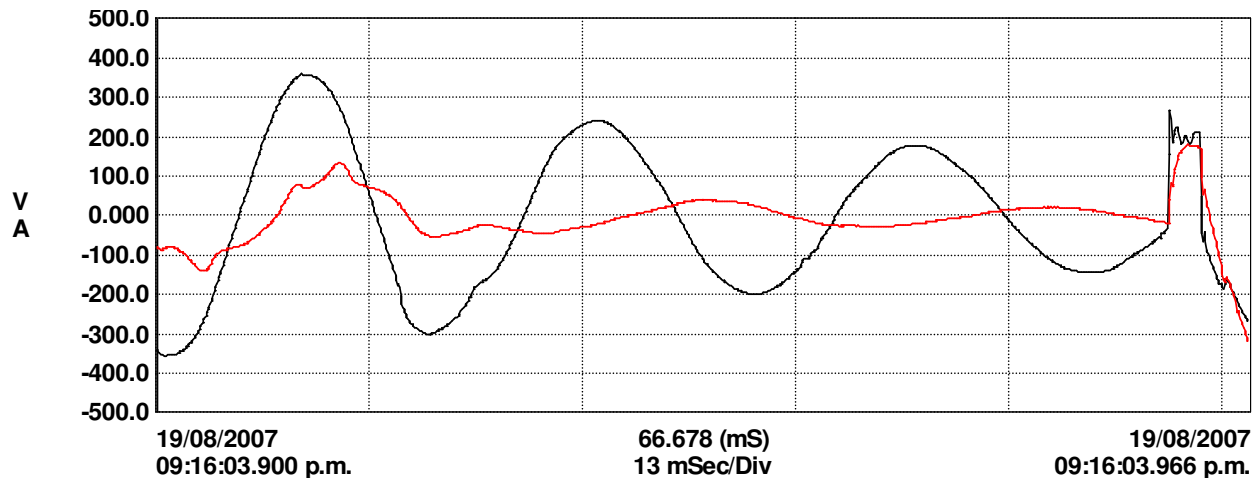


Fig. 4.21 Tension y corriente en fase C durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

Al analizar las gráficas se puede concluir que los disturbios fueron provocados en el lado del suministro, ya que se muestra un comportamiento mixto en la tensión y el sistema reacciona a esos cambios. Como se vió en el primer capítulo, generalmente los sags son provocados por demandas súbitas de corriente, al igual que los oscilatorios.

Para estos disturbios se presentan valores muy altos de armónicas, tanto en tensión como en corriente, que incluso llegan a superar el 200%. También es importante resaltar que la segunda armónica presenta valores superiores a los de la fundamental. Lo anterior se muestra en las figuras 4.22 y 4.23.

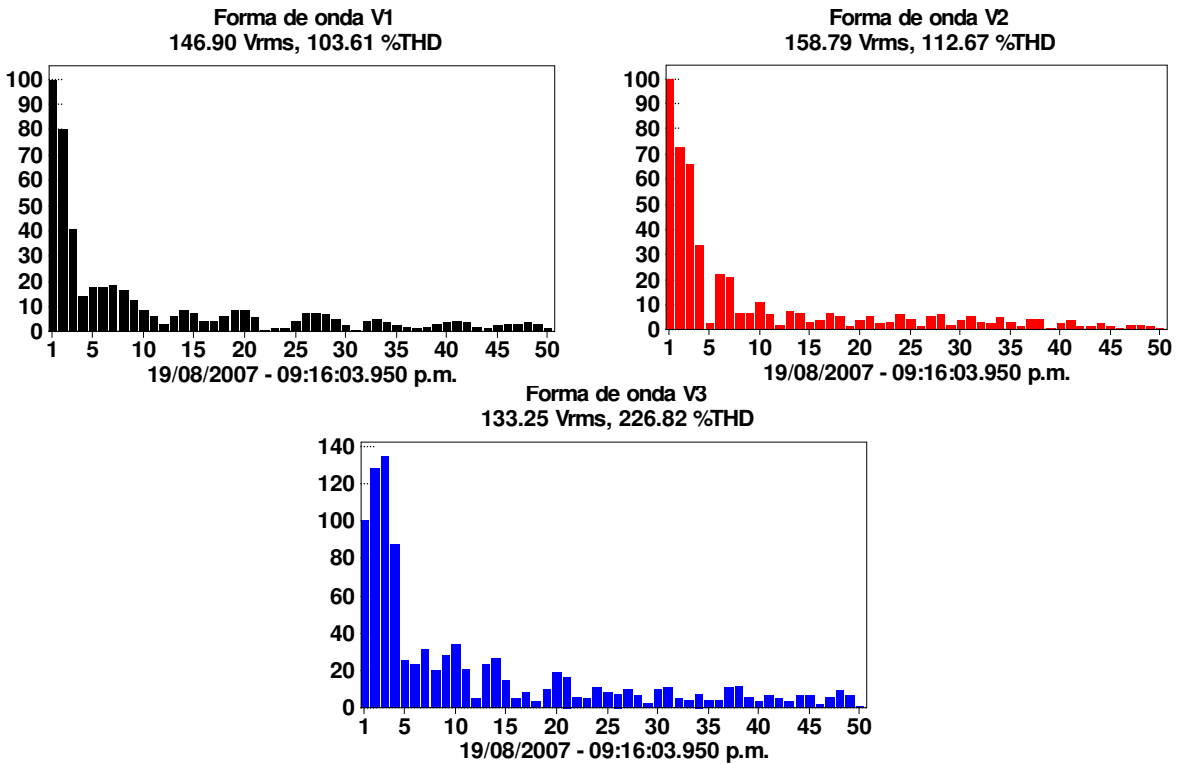


Fig. 4.22 Contenido armónico en las señales de tensión.

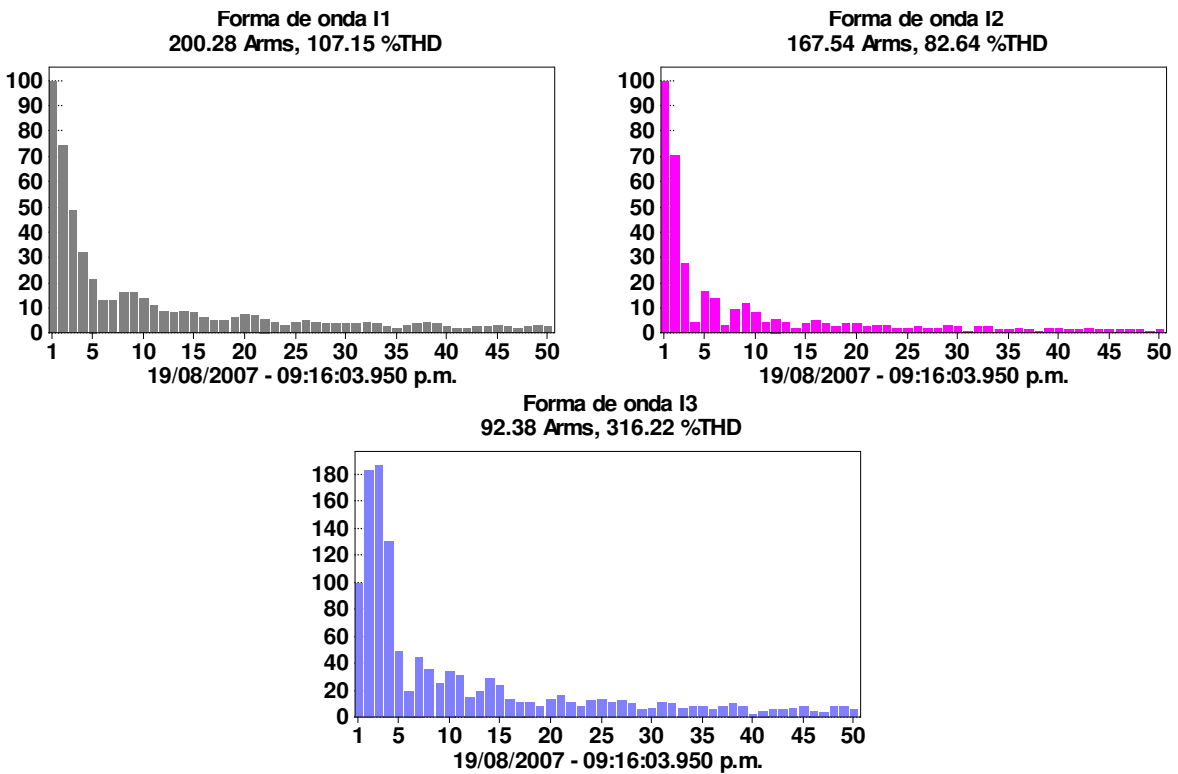


Fig. 4.23 Contenido armónico en las señales de corriente.



Interrupción y oscilatorio.

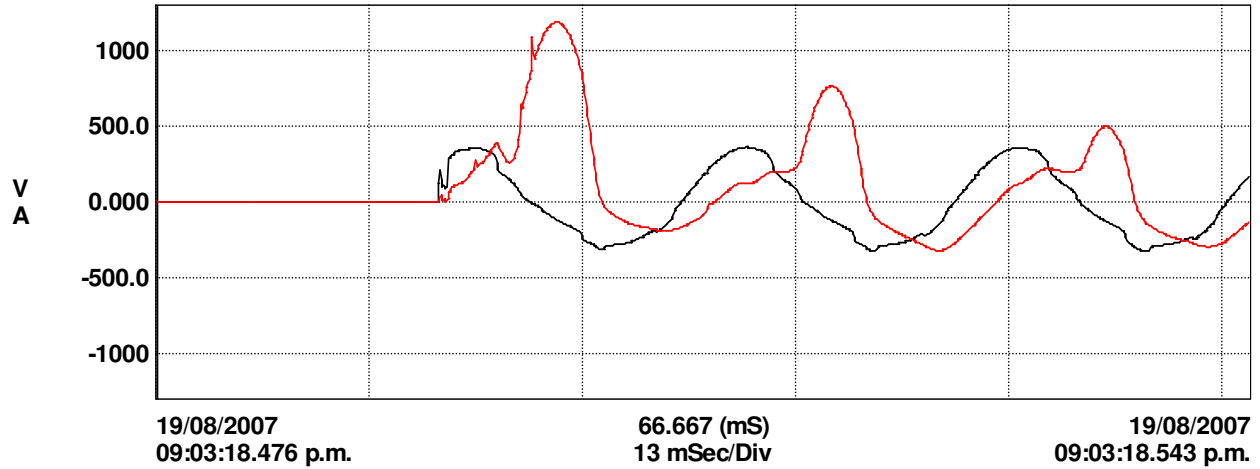


Fig. 4.24 Tensión y corriente en fase A durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.

Como se muestra en la figura 4.24 se presentó una interrupción corta y en el momento en que el sistema intenta retomar la carga se presenta el oscilatorio, esto se debe a la gran demanda de corriente, lo que provoca que la señal de tensión se mantenga muy deformada.

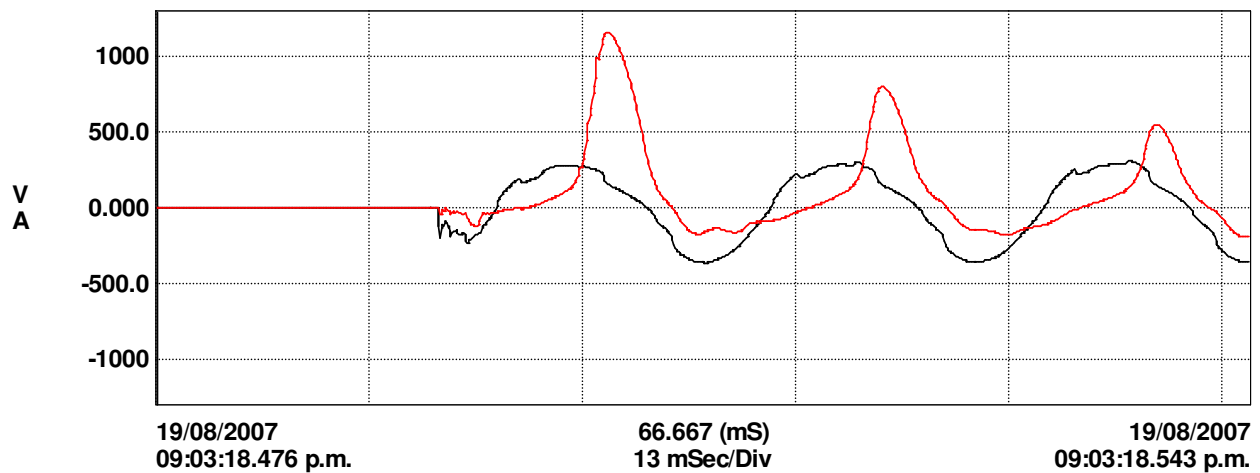


Fig. 4.25 Tensión y corriente en fase B durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.



En el momento que se presentó el oscilatorio, la corriente comienza a crecer de manera sostenida, y después de 5 ms se incrementa hasta alcanzar valores de 940 A (ver figuras 4.24, 4.25 y 4.26).

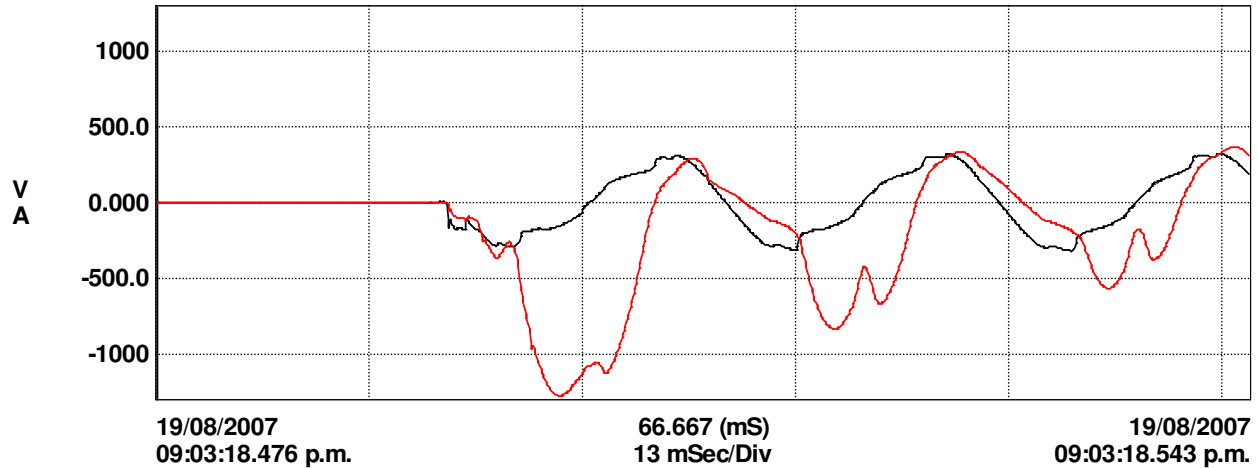


Fig. 4.26 Tension y corriente en fase C durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.

El oscilatorio lo provocó la operación de alguna carga grande, como el arranque de un motor. Existe la posibilidad de que el motor se haya encontrado trabajando cuando ocurrió la interrupción, por lo que en el momento que se reanuda el suministro inmediatamente se eleva la demanda de corriente. Es importante destacar que estas interrupciones generalmente no son detectadas por el usuario, pues son del orden de milisegundos, pero si son capaces de detener la operación de cargas especialmente sensibles a las variaciones de tensión.

Como se mencionó, es normal que se excedan los límites de distorsión armónica recomendados, pues se están tomando los valores justo en los momentos que se presentan los disturbios, pero es necesario que se protejan a los elementos más sensibles conectados al sistema, para que no presenten alteraciones por la presencia de niveles tan elevados de distorsión (ver figuras 4.27 y 4.28).

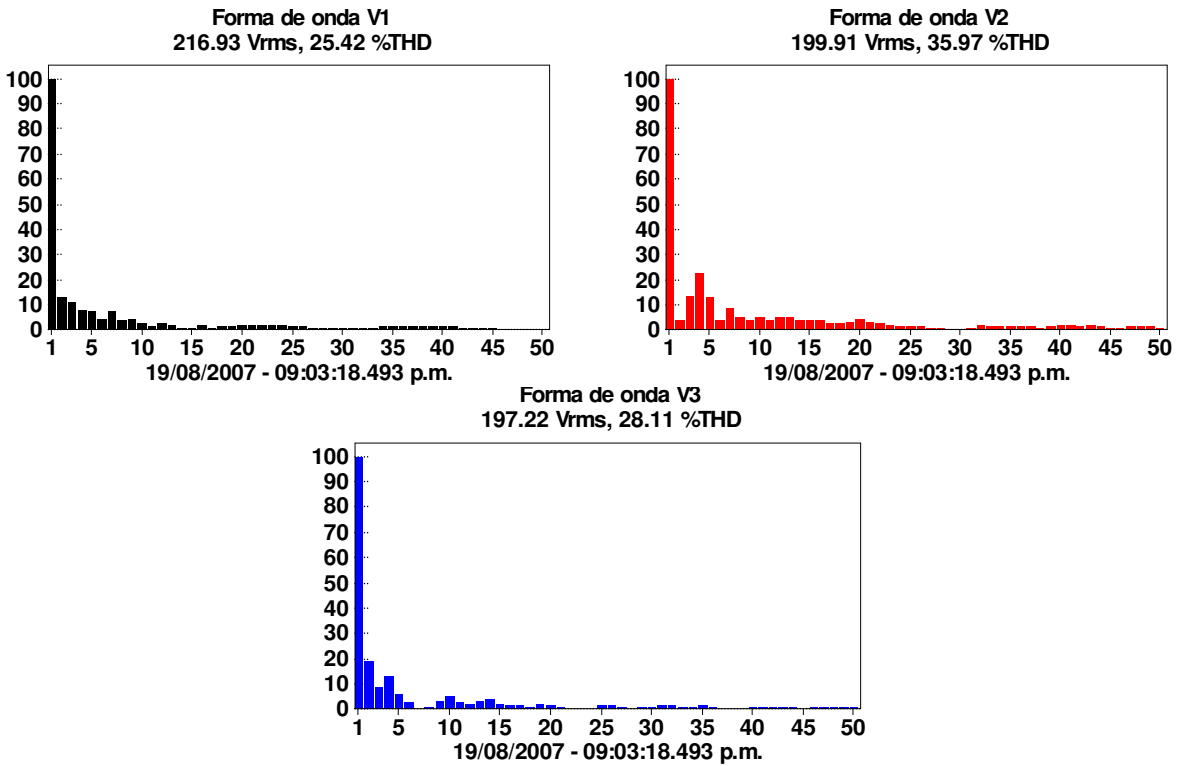


Fig. 4.27 Contenido armónico en las señales de tensión durante el disturbio.

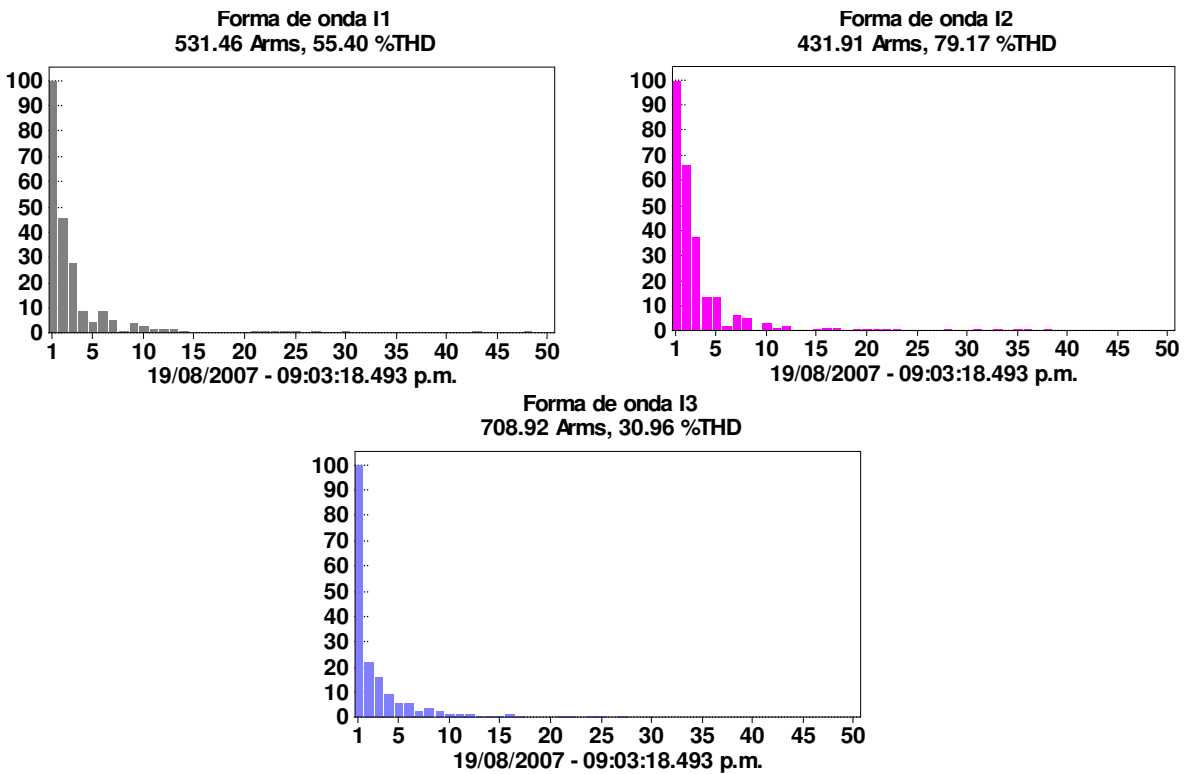


Fig. 4.28 Contenido armónico en las señales de corriente durante el disturbio.



Propuestas de solución.

Como se mencionó en el primer capítulo existen diversos equipos que permiten disminuir la presencia de disturbios en la red, siendo los más efectivos, por el número de disturbios que mitigan los transformadores ferresonantes y los UPS's, aunque al mismo tiempo son los más costosos y que obviamente solo protegen a las cargas que se encuentran conectadas a ellos.

Para solucionar o mitigar los disturbios que se presentan en la instalación del instituto es necesaria la instalación de diversos equipos, principalmente bancos de capacitores para corrección de fp, filtros de armónicas para limpiar las líneas o para mejorar la calidad de las señales de tensión y corriente dentro del sistema, supresores de picos para eliminar las sobretensiones, acondicionadores de línea y reguladores para mantener las tensiones dentro de los valores recomendados por norma.

A continuación se presentan las características de los equipos que son necesarios instalar dentro del instituto para mitigar la presencia de los disturbios.

Filtros.

Los filtros son elementos eléctricos lineales que discriminan el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro y su capacidad. Solucionan problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica de la frecuencia en la que se encuentre sintonizado. Pero la colocación de los filtros se debe realizar con cuidado, ya que estos están muy limitados por la cantidad de corriente que son capaces de filtrar.

Regulador de Línea.

Son equipos eléctricos que controlan la salida de tensión mediante dispositivos electrónicos, brindando una salida con menor variación. Éstos tienen la capacidad de solucionar los problemas de sags, swells, transitorios y de aislar las cargas de otras fuentes.

Banco de capacitores para la corrección del fp.

Es un sistema basado en la interconexión de cargas capacitivas que compensa la demanda de energía reactiva de las cargas inductivas, consiguiendo con ello que el factor de potencia se acerque a la unidad. Este tipo de sistemas es comúnmente utilizado en sistemas de baja tensión con demandas de energía reactiva relativamente pequeñas.



Propuestas.

Con el análisis realizado a los diferentes disturbios presentados durante los monitoreos es notorio que los disturbios con mayor presencia son las muescas, la distorsión armónica y los oscilatorios, aunque los que presentan mayores afectaciones son las interrupciones, dentro de los cuales encontramos como principales causas el arranque de motores de gran capacidad, la operación de equipos electrónicos, y la conmutación entre fases, presente principalmente en equipos que funcionan con corriente directa, como las UPS's y las computadoras.

A continuación se enlistan las propuestas de solución para los diferentes disturbios que se presentan en la instalación, proporcionándolos en orden creciente en cuanto al costo de la inversión.

La primer medida a llevar a cabo es realizar un ajuste en la programación de arranque de la carga motriz conectada al tablero TG-2. Estos motores cuentan con arrancadores, pero ninguno de ellos estaba programado por lo que el motor arrancaba a tensión plena, lo que provocaba la operación del interruptor principal (Masterpact) del tablero general TG-2. Aunque las interrupciones únicamente se presentaron en el tablero TG-2 durante el periodo del monitoreo, es conveniente que se realice la revisión de la programación de los arrancadores en toda la carga motriz del instituto, así como el ajuste de disparo del interruptor de TG-2, ya que como se vio, se debe cuidar la operación de éste, porque la corriente máxima del secundario del transformador es de 1312 A.

Otro aspecto importante que debe ser corregido, es la presencia de armónicos en la señales de tensión y corriente. Para mitigar los efectos de estos disturbios se propone la instalación de filtros de armónicos. Los filtros deben ser instalados en:

- TR-1: CCM-1 y después del UPS de 50 kVA.
- TR-2: CCM-2 y después del UPS de 75 kVA.
- TR-3: Tablero TDAA y después del UPS de 67 kVA

La propuesta anterior va a permitir mejorar la calidad de las señales de tensión y corriente presentes en el sistema, evitando así la propagación de estos disturbios a los demás equipos consumidores de energía instalados en el instituto, al mismo tiempo mejoraran el factor de potencia de las cargas conectadas a los sitios donde se instalen estos filtros. En la tabla 4.7 se muestran algunos precios de filtros.



Potencia	Tensión	Frecuencia nominal	Precio
kVAr	V	Hz	pesos
20	220	60	\$7,488.00
25	220	60	\$9,088.00
30	220	60	\$10,000.00
35	220	60	\$10,688.00
40	220	60	\$12,000.00
40	400-440	60	\$11,344.00
60	400-440	60	\$13,856.00
80	400-440	60	\$16,720.00
100	400-440	60	\$20,640.00

Tabla 4.7 Precios de filtros de armónicas, fuente rtr energía.

Para el caso de el IIB se necesitan un filtro de 30 kVAr a instalarse en el tablero TDAA de TR-3, tres filtros de 60 kVAr a instalarse en en el CCM-1 y el UPS de TR-1 y en el CCM-2 de TR-2, y finalmente dos de 80 kVAr para las UPS's de TR-2 y TR-3. Lo anterior implica una inversión de ochenta y cinco mil pesos, los cuales son necesarios para proteger a las cargas sensibles conectadas a la instalación, y evitar que estas puedan sufrir daños por el incremento de corrientes parásitas que incluso pueden dañar los aislamientos de los transformadores, e incrementar pérdidas por efecto Joule.

También es de suma importancia la instalación de bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia, en los tres transformadores, ya que como se mostró en el presente capítulo, este se encuentra muy por debajo del límite establecido por CFE para el cobro de cargos. La determinación de instalar el banco de capacitores debe ser tomada únicamente después de instalar los filtros de armónicas, ya que estos también contribuyen a mejorar el factor de potencia, además de que los bancos de capacitores generalmente amplifican las armónicas agravando el problema, por lo que es de suma importancia que antes de tomar esta medida se instalen los filtros, y si con esto se corrige el factor de potencia, no será necesaria la implementación de los bancos.

Como última acción a llevar a cabo por ser la más costosa en su implementación se sugiere el uso de reguladores de tensión en los tableros destinados a receptáculos y alumbrado, es necesario proteger estos tableros, ya que los equipos conectados a ellos, como pueden ser refrigeradores trabajen a su tensión nominal, lo que alargará considerablemente su vida útil. A continuación se muestran algunos precios de dichos equipos.



Potencia kVAr	Precio pesos
5	\$13,385.00
10	\$25,640.00
15	\$38,330.00
20	\$51,185.00
25	\$63,750.00
50	\$125,920.00

Tabla 4.8 Precios de reguladores de tensión, fuente industronic.

En este caso, se requieren de tres reguladores de 50 kVAr, por lo que la inversión sería de \$377,760 que como se mencionó es bastante elevada, y es para proteger únicamente a los equipos que no se encuentran conectados a las UPS, ya que estos últimos cumplen con la función de regular la tensión.

Los precios indicados en esta sección fueron obtenidos para el mes de abril de 2010, a la fecha pueden haber variado.