



**SUBDIRECCIÓN TÉCNICA  
UNIDAD DE INGENIERÍA ESPECIALIZADA  
SUBJEFATURA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE SIMULACION DIGITAL**

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA EN  
KIMBERLY CLARK DE MÉXICO S.A. DE C.V., PLANTA SAN JUAN DE  
RÍO, QUERETARO.

Junio del 2007

**Elaborado por**

*Ing. Francisco Cuevas Arteaga  
Ing. Mónica Mónico Mendoza*

**Aprobado por:**

*Ing. Gilberto Enriquez Harper*

México, D.F., a 5 de Junio del 2007

## MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA EN KIMBERLY CLARK DE MÉXICO, PLANTA SAN JUAN DEL RÍO, QRO.

---

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ALCANCE DEL ESTUDIO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. DEFINICIONES .....</b>	<b>5</b>
<b>4. DESVIACIONES PERMISIBLES EN LAS FORMAS DE ONDA DE TENSION Y CORRIENTE EN EL SUMINISTRO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (CFE L-000045) .....</b>	<b>8</b>
<b>5. RESULTADOS DE MEDICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA .....</b>	<b>10</b>
5.1 MEDICIONES EN BUS Y ALIMENTADOR DEL TABLERO DE 13.8 kV QUE ALIMENTA A LOS TRANSFORMADORES DE MOTORES DE 5000 HP, CONECTANDO Y DESCONECTANDO LOS FILTROS DE 5ª Y 7ª ARMÓNICA. ....	10
5.2 MEDICIONES EN BUS (NIVEL 13.8 kV) Y ALIMENTADOR A4 DE MOTOR DE 5000 HP, CONECTANDO Y DESCONECTANDO LOS FILTROS DE 5ª Y 7ª ARMÓNICA. ....	15
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>22</b>

## 1. Resumen Ejecutivo

Referente a la solicitud de servicio según oficio Ref: 06/3114, para realizar mediciones de calidad de la energía y análisis tendientes a conocer el desempeño de los filtros de 5ª y 7ª armónicas aplicados a controladores de velocidad de motores de 5000 HP y así determinar los beneficios del proyecto.

Se midió en la acometida de Kimberly (115 KV), en los alimentadores del tablero de 13.8 KV y en los 2 motores de 5000 HP (A3 y A4) estando la planta en condiciones normales de operación con y sin los filtros de 5ª y 7ª armónicas.

Cabe mencionar que cada controlador de motor se alimenta en 2.3 KV a través de un transformador trifásico delta-3delta con defasamientos angulares de -20, 0 y +20 grados eléctricos, de tal manera que desde el bus de 13.8 KV se tienen controladores de 18 pulsos, los cuales generan corrientes armónicas de 17ª, 19ª, 35ª, 37ª, 53ª, 55ª... de magnitudes muy pequeñas, teniendo también pequeños voltajes armónicos del mismo orden.

Del análisis de las mediciones de parámetros eléctricos y calidad de la energía se concluye que están dentro de los límites permisibles establecidos en las Normas CFE L0000 45 y IEEE Std-519 (se incluye reporte).

Con la finalidad de observar los beneficios de la aplicación de los filtros, se presenta la siguiente tabla comparativa donde se observa el ahorro del 10% de la energía demandada en ése tablero y representa el 47% de la potencia real de los motores:

Resumen de mediciones en bus y alimentador principal de tablero en 13.8 kV.

Parámetro:	Medición con filtros:	Medición sin filtros:	Observaciones o rango permitido:
voltaje RMS	$1.02 \text{ pu} \leq V_M \leq 1.03 \text{ pu}$	$1.0 V_M \geq 1.01 \text{ pu}$	$0.97 \leq V \leq 1.03 \text{ pu}$
Corriente RMS	$735 \leq I_M \leq 748 \text{ A}$	$815 \text{ A} \leq I_M \leq 820 \text{ A}$	-----
Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi)	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 1.58 \%$	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 2.4 \%$	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 5.0 \%$
Distorsión Armónica Total de Tensión (THDv)	$\text{DAT}=\text{THDv} < 2.5 \%$	$\text{DAT}=\text{THDv} < 4.5 \%$	$\text{DAT}=\text{THDv} \leq 6.5 \%$
Potencia real (P)	20091 KW	22365 KW	Con filtros se ahorran 2274 KW (-10% de ahorro)
Potencia reactiva (Q)	-5433 KVAR	-1642 KVAR	***
Factor de potencia (F.P.)	F.P. $\leq -0.96$ Adelantado	F.P. = $-0.99$ Adelantado	Es correcto

\*\*\* La potencia reactiva suministrada al bus de 115 KV se distribuye en la propia planta. Cuando salen de operación los filtros, el FP medido en 115 KV es de 0.93 atrasado y al insertarse se tiene un FP de 0.96 atrasado.

En el reporte se indican los parámetros eléctricos medidos (voltajes y corrientes RMS, distorsiones de corriente y voltaje, formas de onda de voltaje y corriente, potencias y factor de potencia) que ocurren en condiciones normales de operación de la planta con filtros insertados y desconectados para evaluar las diferencias.

Para mayor claridad, se incluyen en este documento, definiciones de los parámetros principales que son utilizados en el análisis de la calidad de la energía.

Finalmente se incluye el anexo A1 con las Características del equipo utilizado para el registro de las mediciones

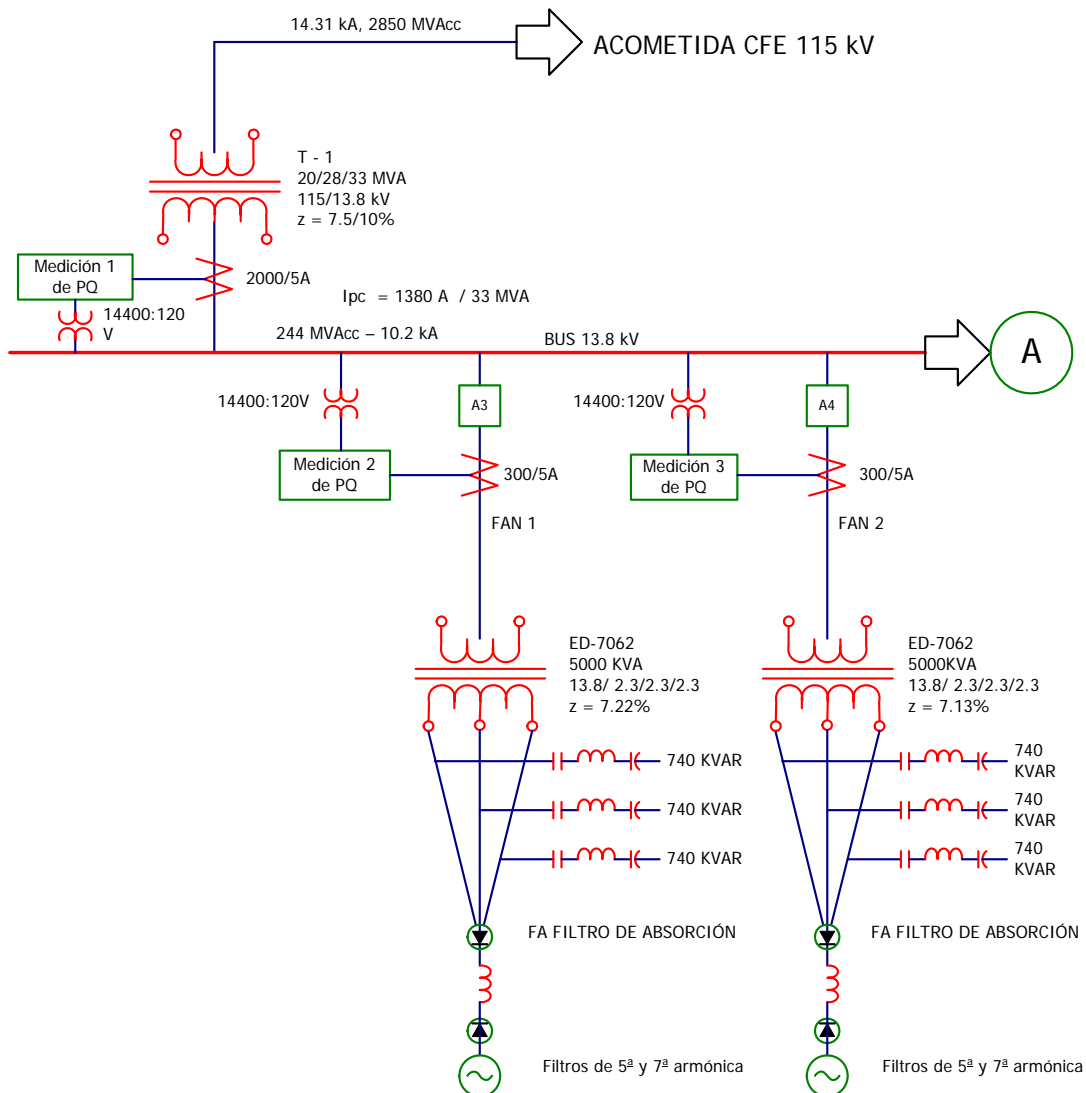
## 2. Alcance del Estudio

El alcance de este estudio comprende la obtención y análisis de parámetros eléctricos y distorsiones de corrientes y voltajes armónicos en Kimberly Clark de México, Planta San Juan del Río, para verificar el desempeño y beneficios de los Filtros de absorción.

**Tabla 1.- Lugar y ubicación donde se realizó la medición**

Punto de Medición	Nivel de Tensión	Período de Medición
Acometida	115 kV	15 de Mayo de 2007
alimentadores del tablero y motores de 5000 HP (A3 y A4)	13.8 kV	15 de Mayo de 2007

**DIAGRAMA UNIFILAR PARCIAL DE KIMBERLY CLARK DE MÉXICO, PLANTA SAN JUAN DEL RIO ÁREA "COSMOS"**



### 3. Definiciones

- ❑ **Valor Eficaz de Tensión y Corriente (rcm):**  
Es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores instantáneos de una cantidad tomada en un intervalo de tiempo especificado.
- ❑ **Desbalance o Contenido de Secuencia Negativa y Cero:**  
El desbalance o contenido de secuencia negativa, en por ciento, es una característica de un sistema trifásico de tensiones o corrientes. Se obtiene en función de las componentes de frecuencia fundamental de cada tensión o corriente.
- ❑ **Armónica:**  
Componente senoidal de una forma de onda periódica que tiene una frecuencia correspondiente a un número múltiplo entero de la onda de la frecuencia fundamental.
- ❑ **Distorsión Armónica Total de Tensión (DAT):**  
La distorsión armónica total de tensión se expresa en por ciento y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$DAT = 100 \times \sqrt{\left( \frac{\sum_{h=2}^H \frac{V_h^2}{V_1^2} \right)}$$

- donde:  $V_h$  - Componente de la "h" armónica de tensión  
 $V_1$  - Componente de frecuencia fundamental de tensión  
h - No. de armónica, " 1 " indica la componente de frecuencia fundamental  
H = 25 como mínimo

- ❑ **Distorsión Armónica Total de Corriente (DTC):**

La distorsión armónica total de corriente se expresa en por ciento y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$DTC = 100 \times \sqrt{\left( \frac{\sum_{h=2}^H \frac{I_h^2}{I_1^2} \right)}$$

- donde:  $I_h$  - Componente de la "h" armónica de corriente  
 $I_1$  - Componente de frecuencia fundamental de corriente  
h - No. de armónica, " 1 " indica la componente de frecuencia fundamental  
H = 25 como mínimo

□ **Componente Armónico Individual Máximo de Tensión (CAIMT):**

El componente armónico individual máximo de tensión, se expresa en por ciento y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CAIMT = 100 \times \frac{V_{hm}}{V_1}$$

donde:  $V_{hm}$  - Componente armónica de mayor amplitud de tensión  
 $V_1$  - Componente de frecuencia fundamental de tensión

□ **Componente Armónico Individual Máximo de Corriente (CAIMC):**

Componente armónico individual máximo de corriente, se expresa en por ciento y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CAIMC = 100 \times \frac{I_{hm}}{I_1}$$

donde:  $I_{hm}$  - Componente armónica de mayor amplitud de corriente  
 $I_1$  - Componente de frecuencia fundamental de corriente

□ **Indicador de Variación de Tensiones de Corto Plazo (Pst):**

Expresa la severidad de la fluctuación durante un periodo de 10 minutos, siendo Pst=1 el umbral de irritabilidad.

□ **Indicador de Variaciones de Tensión de Largo Plazo (Plt):**

Expresa la severidad de la fluctuación durante un periodo largo de 2 horas, empleando valores sucesivos de Pst.

□ **Microcorte (pulso de conmutación):**

Se trata del área trapezoidal de un pulso de corta duración que se superpone, con polaridad opuesta, a la onda de tensión de 60 Hz en ese instante, se expresa en pu -  $\mu$ S.

□ **Variaciones Rápidas de Tensión (Sag's y Swell's):**

**Sags:**

Disminución de entre 0,1 y 0,8 pu en la tensión o corriente rcm, a la frecuencia del sistema, con duraciones de entre 0,5 ciclos a 1 minuto.

**Swells:**

Incremento temporal del valor rcm de tensión superior al 10% del nominal, a la frecuencia del sistema, con duración de 0,5 ciclos o hasta 1 minuto.

❑ **Interrupción del Suministro**

Disminución total de la tensión o disminución parcial de la misma dentro del rango de 0,0 a 0,099 pu.

❑ **Variaciones de Frecuencia:**

Incremento o decremento en el valor de la frecuencia. La duración de una variación de frecuencia puede estar comprendida desde algunos ciclos hasta varias horas.

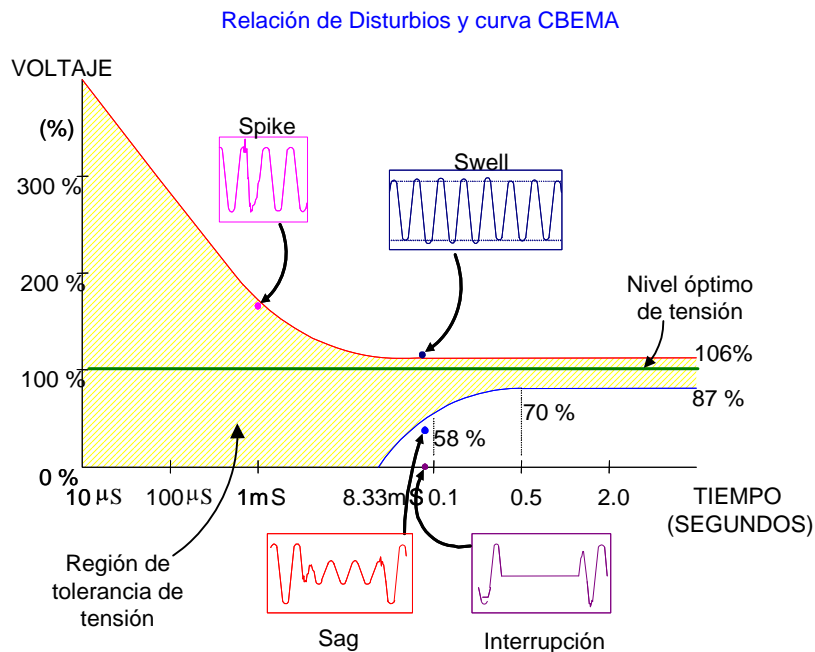
❑ **Transitorios:**

Define fenómenos en los que una magnitud determinada varía entre dos valores de estado consecutivos durante un breve intervalo de tiempo comparado con la escala de tiempos en que se maneja el Sistema. Los transitorios pueden ser impulsos unidireccionales de cualquier polaridad o bien ondas oscilatorias amortiguadas con el primer pico ocurriendo en cualquier polaridad.

❑ **Curva CBEMA:**

Conjunto de curvas que representan la aptitud de las computadoras en función de la magnitud y duración de las perturbaciones de tensión. Fue desarrollada por la **Computer Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA)**, y se convirtió de hecho en el estándar para las mediciones de desempeño de todo tipo de equipos y sistemas de potencia.

**Fig. 1 Curva CBEMA**



#### 4. Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica (CFE L-000045)

Las siguientes tablas indican las desviaciones máximas permisibles indicadas en la especificación CFE L-000045, aplicables tanto al suministrador como al consumidor que se encuentren conectados a la red eléctrica de CFE.

**Tabla 2 Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida**

Tensión (kV)	Desbalance (%)
Menor de 1	3,0
Mayor de 1	2,0

**Tabla 3 Límites máximos de distorsión armónica total en tensión (DAT) y de la Componente armónica individual máxima de tensión (CAIMT) en el punto de acometida**

Tensión (kV)	Distorsión Armónica Individual en % (CAIMT)	Distorsión Armónica Total de Tensión en % (DAT)
Menor de 1	6,0	8,0
de 1 a 35	5,0	6,5
Mayor de 35	2,0	3,0

**Tabla 4 Límites máximos de distorsión armónica total de corriente (DTD) y de la Componente armónica individual máxima de corriente (CAIMC) para baja, media y alta tensión hasta 69 kV**

Impedancia Relativa ( $I_{cc} / I_L$ )	para Armónicas Impares en % (CAIMC)					Distorsión Armónica Total de Corriente en % (DTC)
	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	h≥35	
$(I_{cc} / I_L) < 20$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 \leq (I_{cc} / I_L) < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 \leq (I_{cc} / I_L) < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
$(I_{cc} / I_L) \geq 1000$	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

**Tabla 5 Límites máximos de distorsión armónica total de corriente (DTD) y de la Componente armónica individual máxima de corriente (CAIMC) para alta tensión (mayor de 69 kV y hasta 161 kV)**

Impedancia Relativa ( $I_{cc} / I_L$ )	para Armónicas Impares en % (CAIMC)					Distorsión Armónica Total de Corriente en % (DTC)
	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	h≥35	
$(I_{cc} / I_L) < 20$	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
$20 \leq (I_{cc} / I_L) < 50$	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4,0
$50 \leq (I_{cc} / I_L) < 100$	5,0	2,25	2,0	0,75	0,35	6,0
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1000$	6,0	2,75	2,5	1,0	0,5	7,5
$(I_{cc} / I_L) \geq 1000$	7,5	3,5	3,0	1,25	0,7	10,0



**Tabla 6 Límites máximos de distorsión armónica total de corriente (DTD) y de la Componente armónica individual máxima de corriente (CAIMC) para alta tensión (mayor de 161 kV)**

Impedancia Relativa ( $I_{cc} / I_L$ )	para Armónicas Impares en % (CAIMC)					Distorsión Armónica Total de Corriente en % (DTC)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$(I_{cc} / I_L) < 50$	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
$(I_{cc} / I_L) \geq 50$	3,0	1,5	1,15	0,45	0,22	3,75

**NOTAS:**

- 1) En el caso de armónicas pares los límites se reducen al 25% de los correspondientes a armónicas impares.
- 2) Los límites mostrados en la tabla 4, 5 y 6 deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50%.
- 3) En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.
- 4)  $I_{cc}$  = Corriente de Corto Circuito,
- 5)  $I_L$  = Corriente de Carga

**Tabla 7 Límites de variaciones de tensión (Flicker)**

Indicador	Límite
$P_{st}$	$\leq 1$
$P_{it}$	$\leq 0,65$
$d_t$	$\leq 3,3\%$ Durante el cambio de tensión para más de 500 ms
$d_c$	$\leq 3,3\%$
$d_{max}$	4 % Sin condiciones adicionales.
	$\leq 6 \%$ Para equipo que es conmutado manualmente o con una frecuencia mayor a 2 veces por día y también con arranque retardado de más de 10 s, o arranque manual después de una interrupción en el suministro de energía.
	$\leq 7 \%$ Para equipo que es conmutado hasta dos veces al día.

**NOTAS:**

- 1)  $P_{st}$  y  $P_{it}$  no aplica para cambios de tensión por conmutación manual que ocurre una vez cada día y los límites  $d_t$ ,  $d_c$  y  $d_{max}$  deben aplicarse con las tensiones previas multiplicadas por el factor 1.33.
- 2) Los límites no aplican a conmutaciones por interrupciones de emergencia.

## 5. Resultados de Mediciones de Calidad de Energía

### 5.1 Mediciones en Bus y alimentador del tablero de 13.8 kV que alimenta a los transformadores de motores de 5000 HP, conectando y desconectando los filtros de 5ª y 7ª armónica.

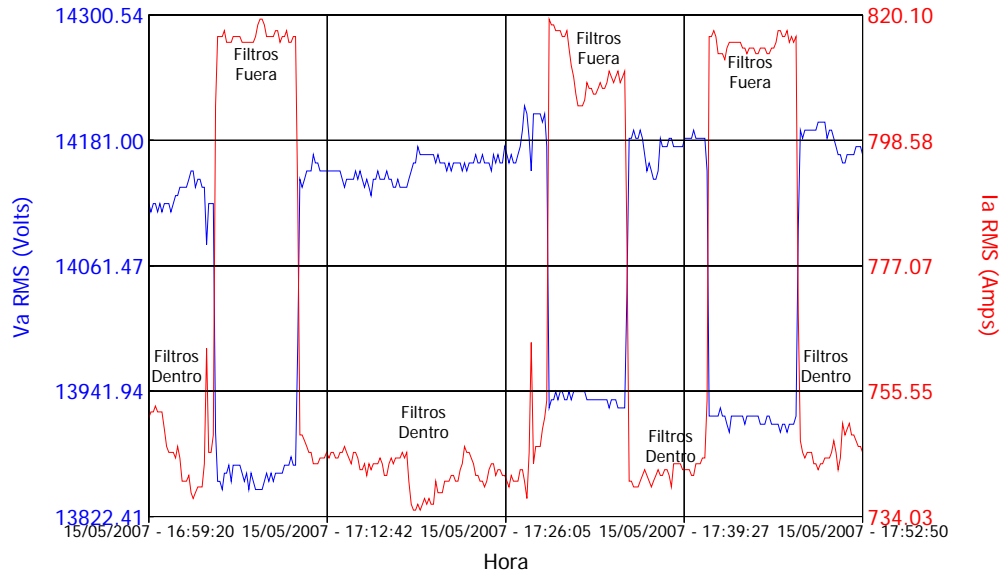


Fig. 1 Perfiles de tensión y corriente RMS.

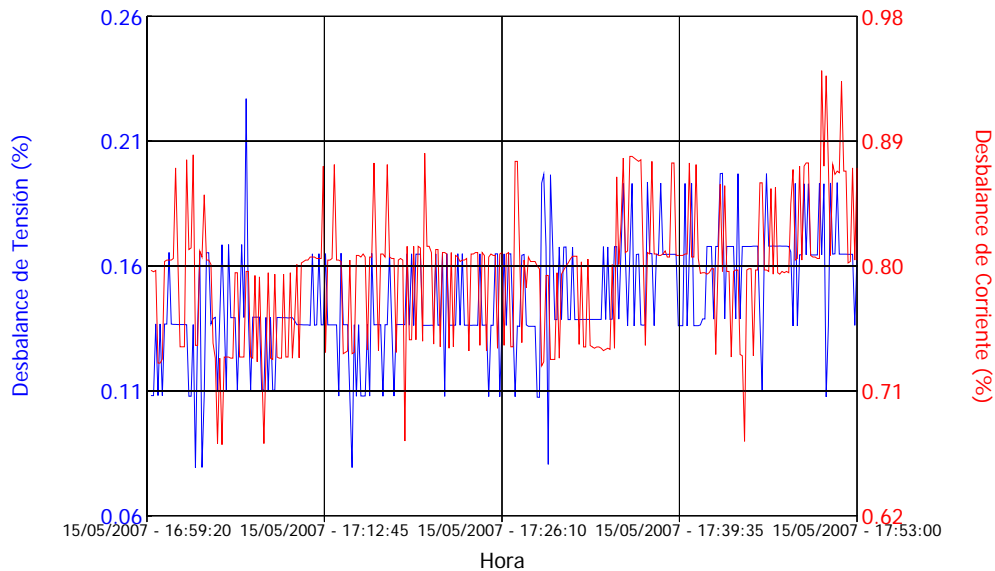


Fig. 2 Desbalance de tensión y corriente.

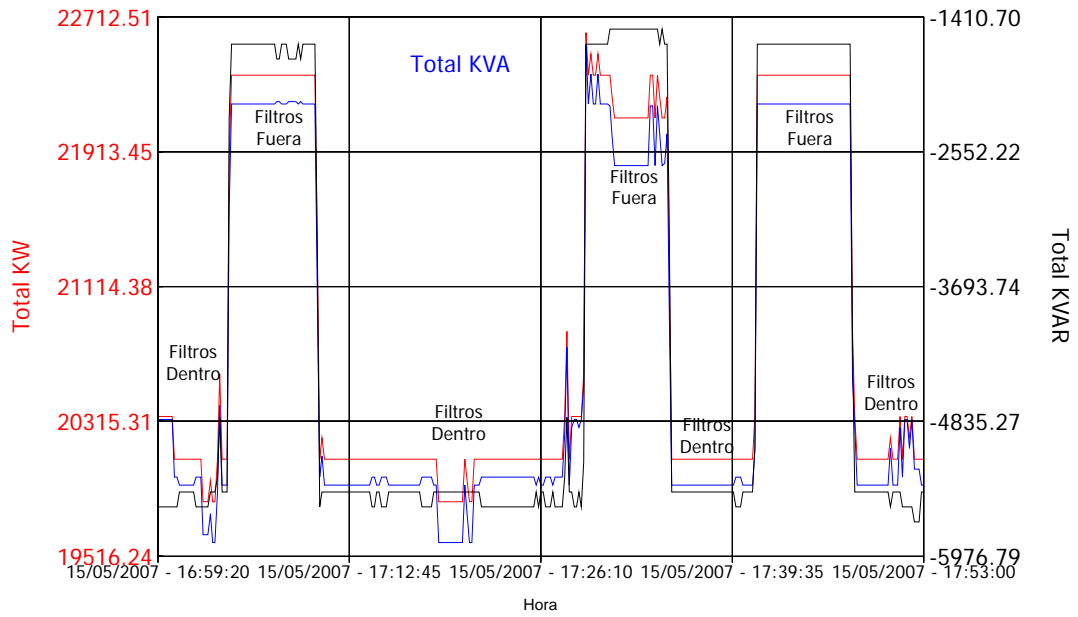


Fig. 3 Perfil de Potencia Real, Reactiva y Aparente.

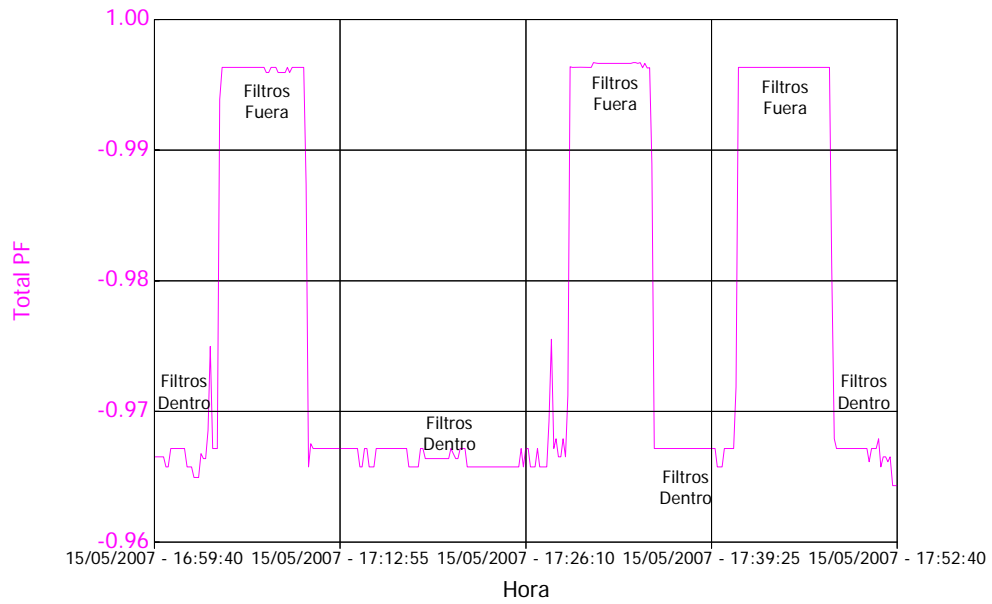


Fig. 4 Factor de Potencia (un FP negativo equivale a un FP adelantado).

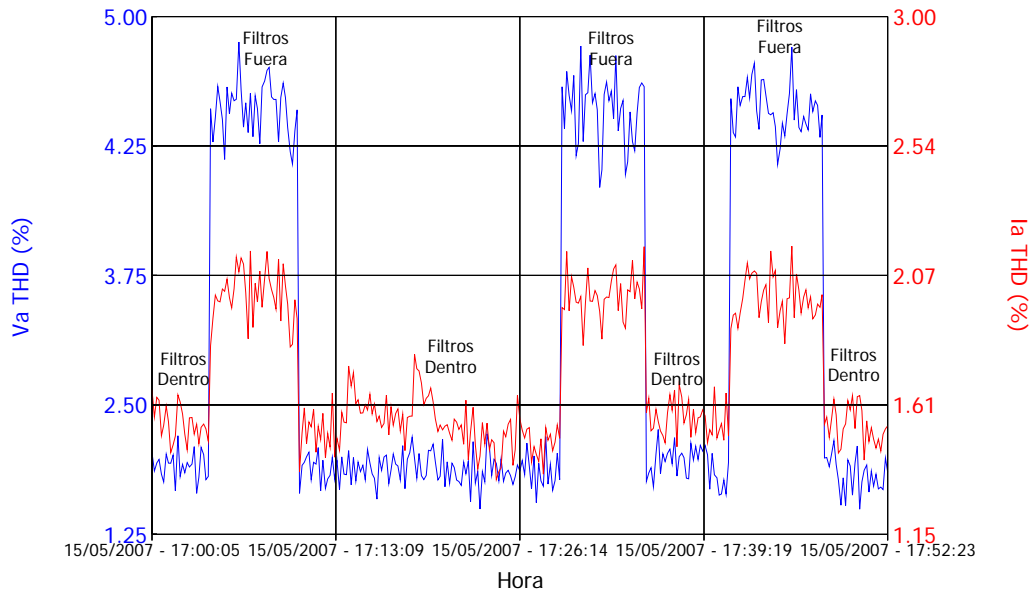


Fig. 5 Distorsión Armónica Total de Voltaje (DAT ó THDv) y Distorsión Armónica Total de corriente (DTC ó THDi).

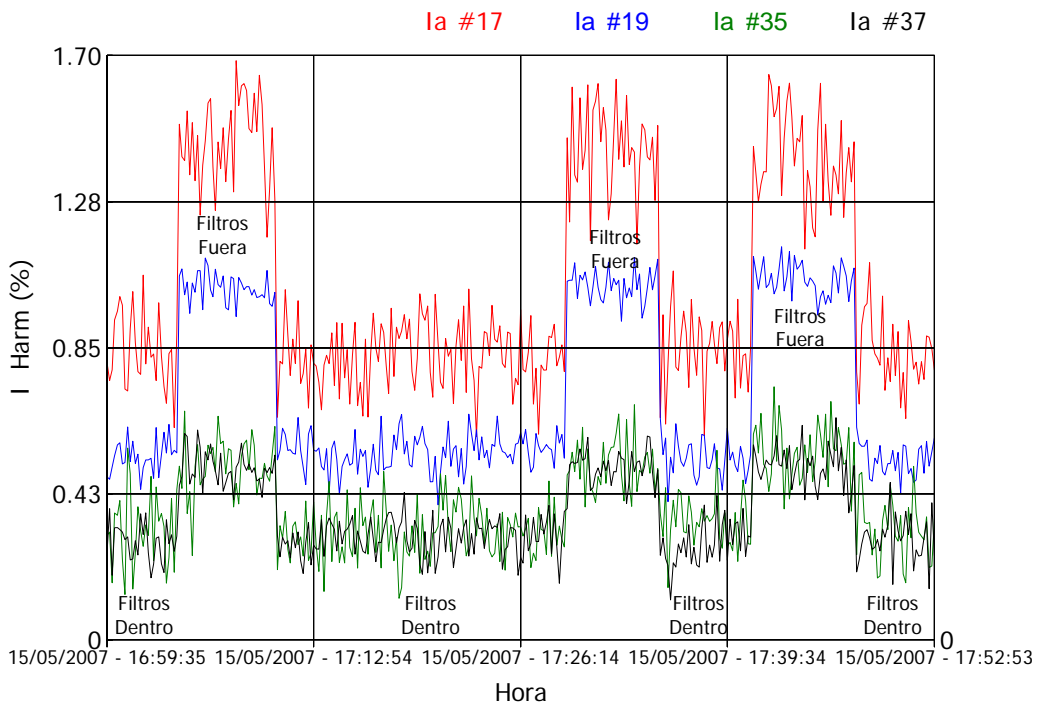


Fig. 6 Distorsión Armónica Individual de Corriente (CAIMC).

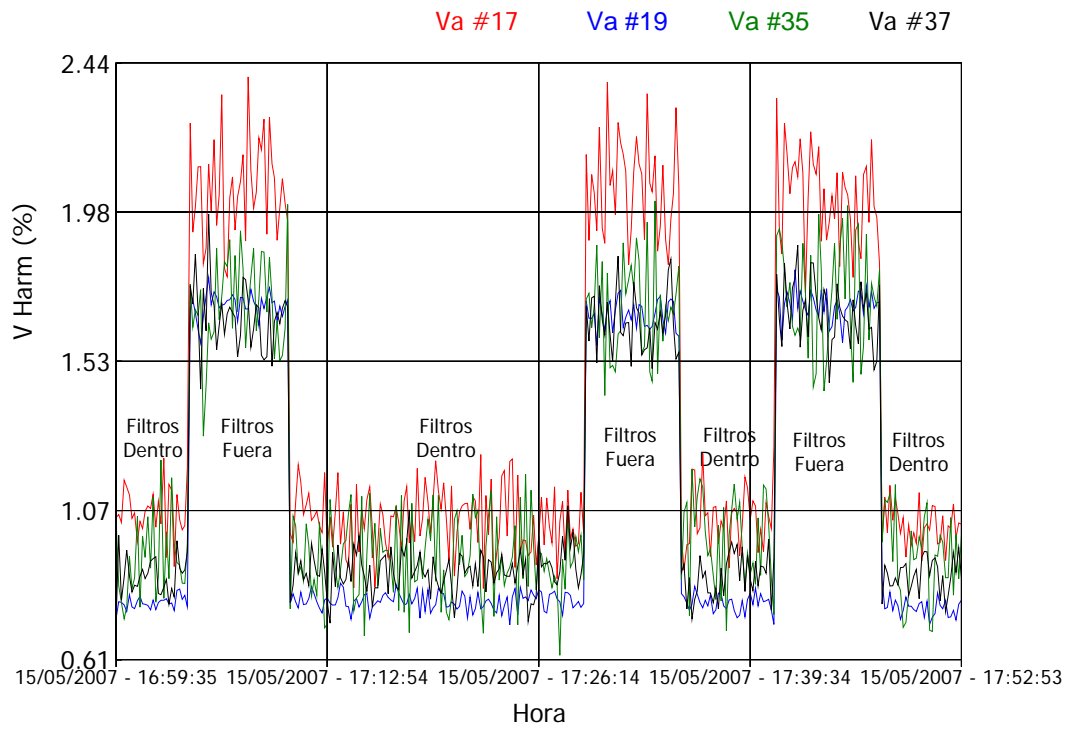


Fig. 7 Distorsión Armónica Individual de Tensión (CAIMIT).

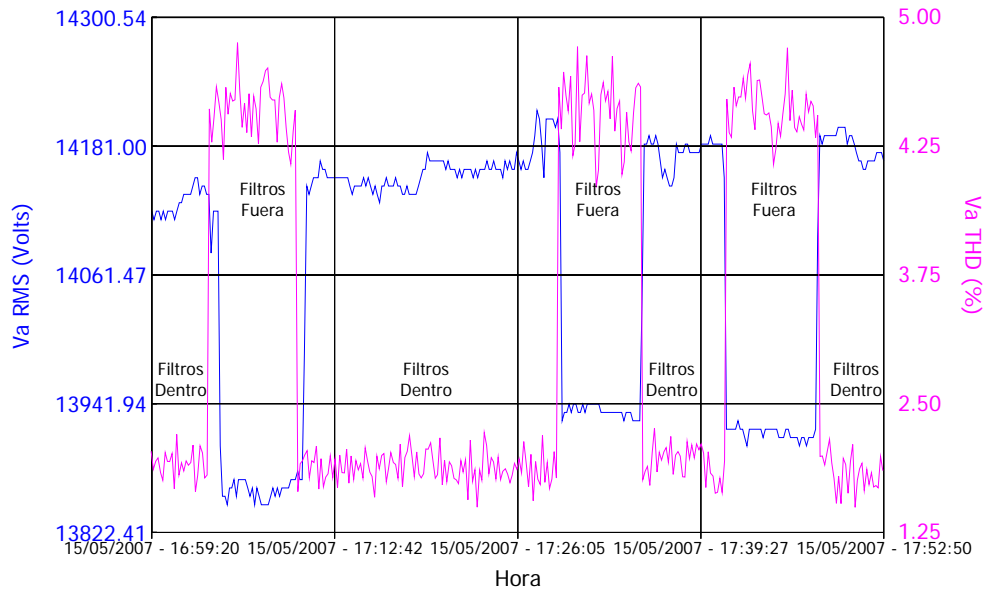


Fig. 8 Perfil de tensión y Distorsión Armónica Total de Voltaje (DAT ó THDv).

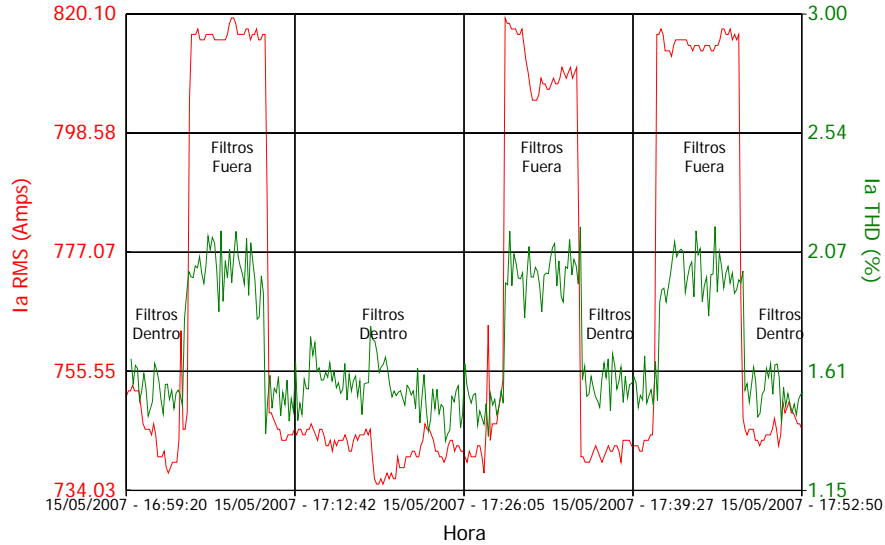


Fig. 9 Perfil de Corriente y Distorsión Armónica Total de corriente (DTC ó THDi).

**Tabla 8 Resumen de mediciones en bus y alimentador principal de tablero en 13.8 kV.**

Parámetro:	Medición con filtros:	Medición sin filtros:	Observaciones o rango permitido:
voltaje RMS	$1.02 \text{ pu} \leq V_M \leq 1.03 \text{ pu}$	$1.0 V_M \geq 1.01 \text{ pu}$	$0.97 \leq V \leq 1.03 \text{ pu}$
Corriente RMS	$735 \leq I_M \leq 748 \text{ A}$	$815 \text{ A} \leq I_M \leq 820 \text{ A}$	-----
Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi)	DTC=THDi $\leq 1.58 \%$	DTC=THDi $\leq 2.4 \%$	DTC=THDi $\leq 5.0 \%$
Distorsión Armónica Total de Tensión (THDv)	DAT=THDv $< 2.5 \%$	DAT=THDv $< 4.5 \%$	DAT=THDv $\leq 6.5 \%$
Potencia real (P)	20091 KW	22365 KW	Con filtros se ahorran 2274 KW (-10% de ahorro)
Potencia reactiva (Q)	-5433 KVAR	-1642 KVAR	***
Factor de potencia (F.P.)	F.P. $\leq -0.96$ Adelantado	F.P. = $-0.99$ Adelantado	Es correcto

\*\*\* La potencia reactiva suministrada al bus de 115 KV se distribuye en la propia planta. Cuando salen de operación los filtros, el FP medido en 115 KV es de 0.93 atrasado y al insertarse se tiene un FP de 0.96 atrasado.

**5.2 Mediciones en Bus (nivel 13.8 kV) y alimentador A4 de motor de 5000 HP, conectando y desconectando los filtros de 5ª y 7ª armónica.**

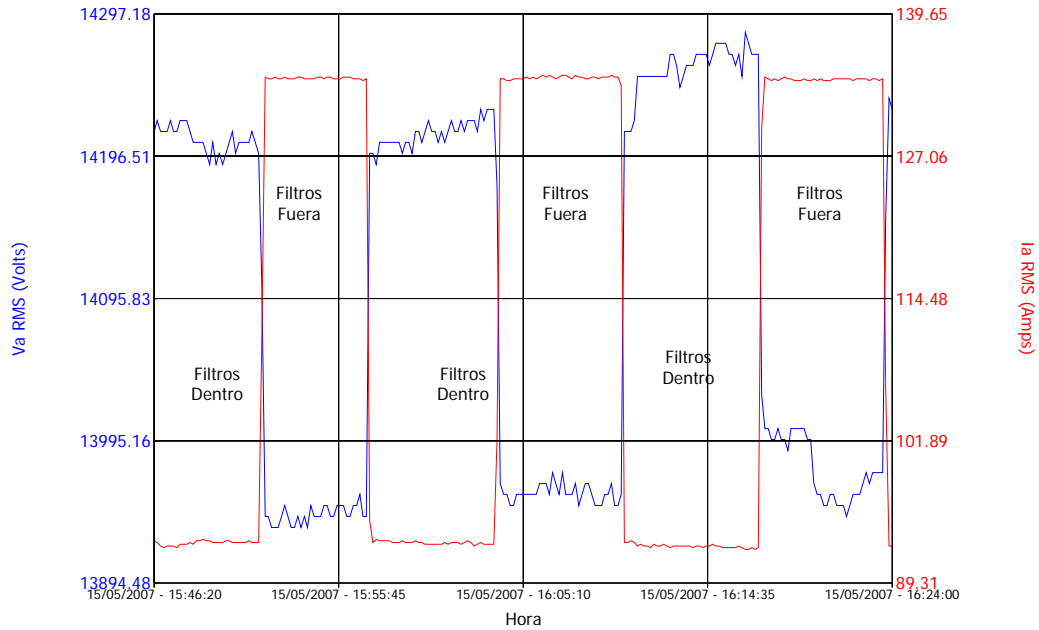


Fig. 10 Perfiles de tensión y corriente RMS.

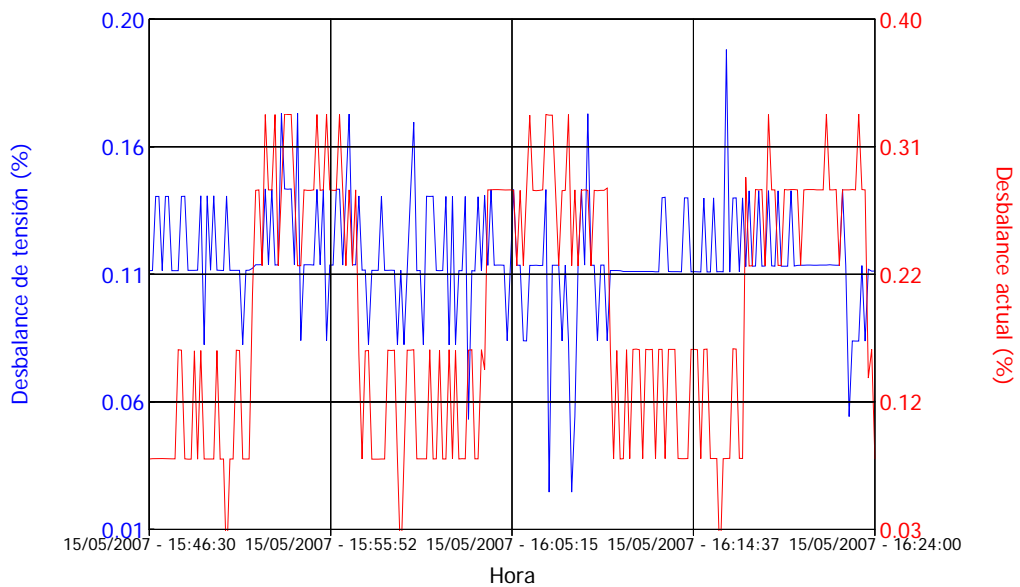


Fig. 11 Desbalance de tensión y corriente, medidos en bus de 13.8 kV.

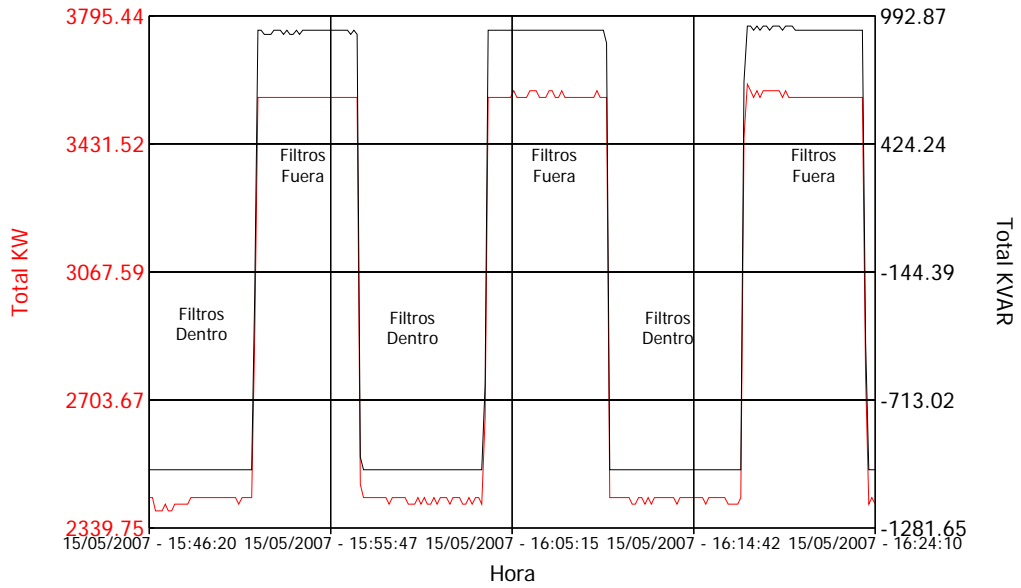


Fig. 12 Perfil de Potencia Real y Reactiva.

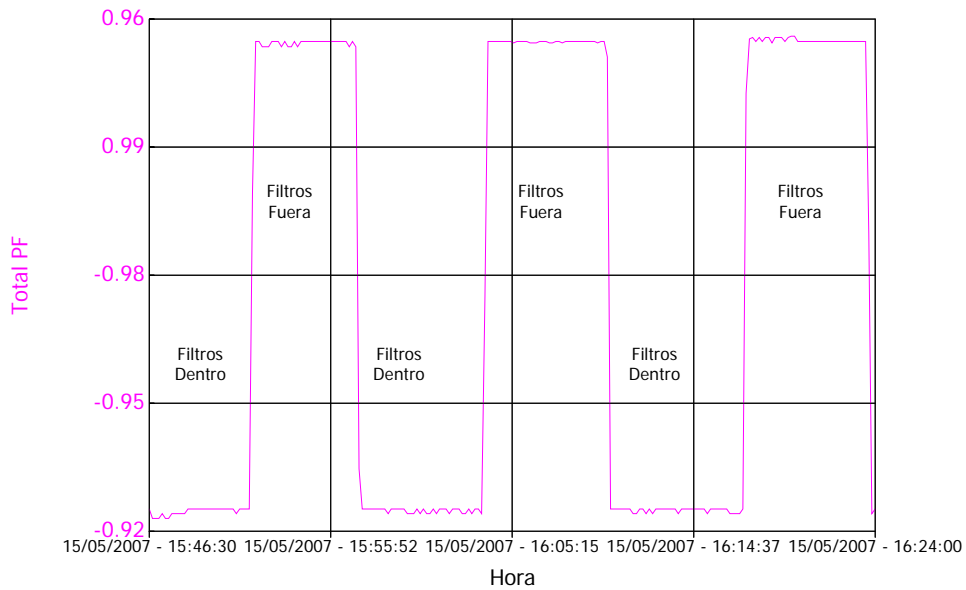


Fig. 13 Factor de Potencia (un FP positivo equivale a un FP atrasado).



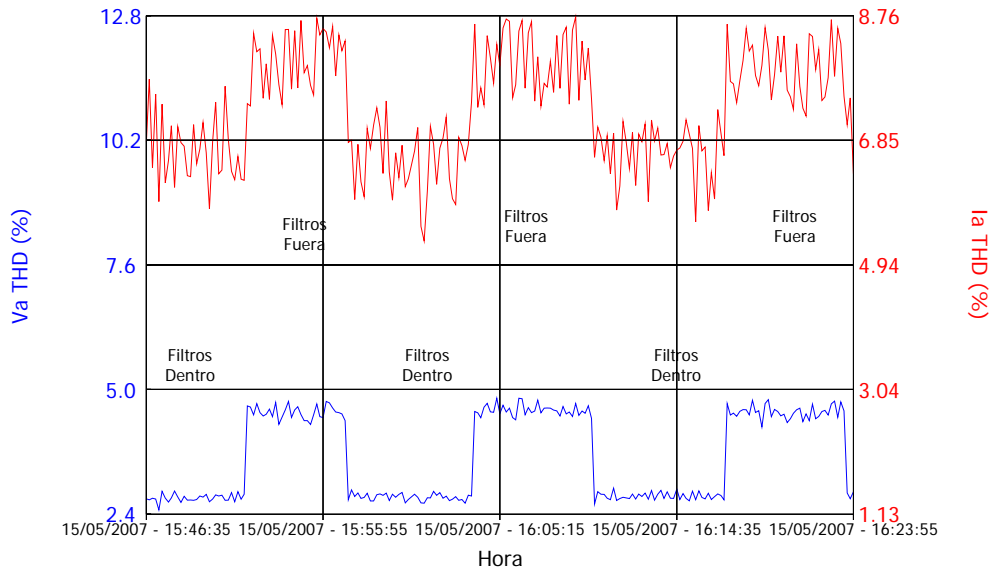


Fig. 14 Distorsión Armónica Total de Tensión (DAT ó THDv) y Distorsión Armónica Total de corriente (DTC ó THDi).

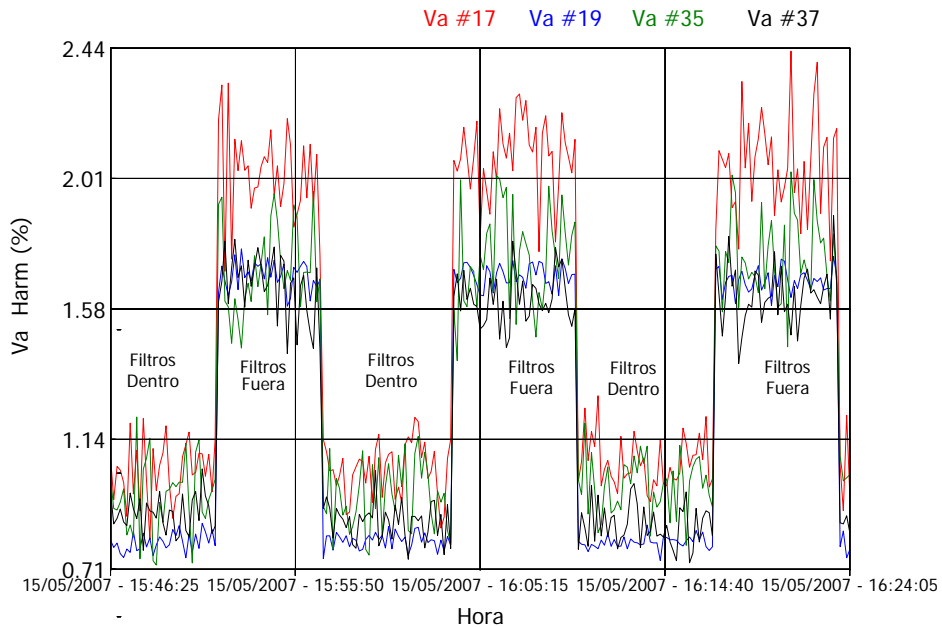


Fig. 15 Distorsión Armónica Individual de Tensión (CAIMIT).

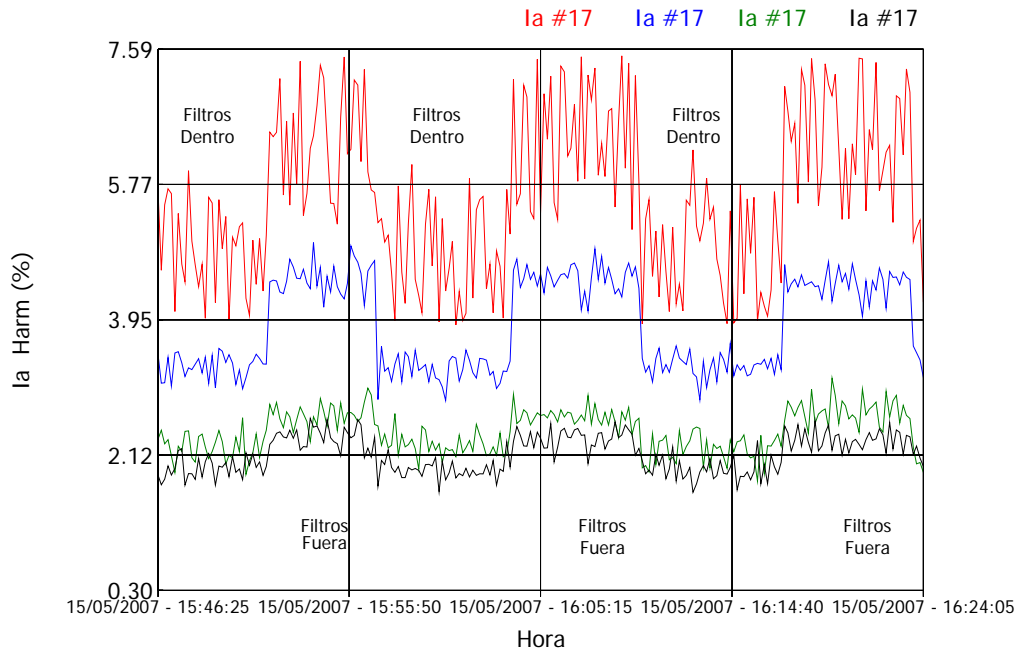


Fig. 16 Distorsión Armónica Individual de corriente (CAIMC).

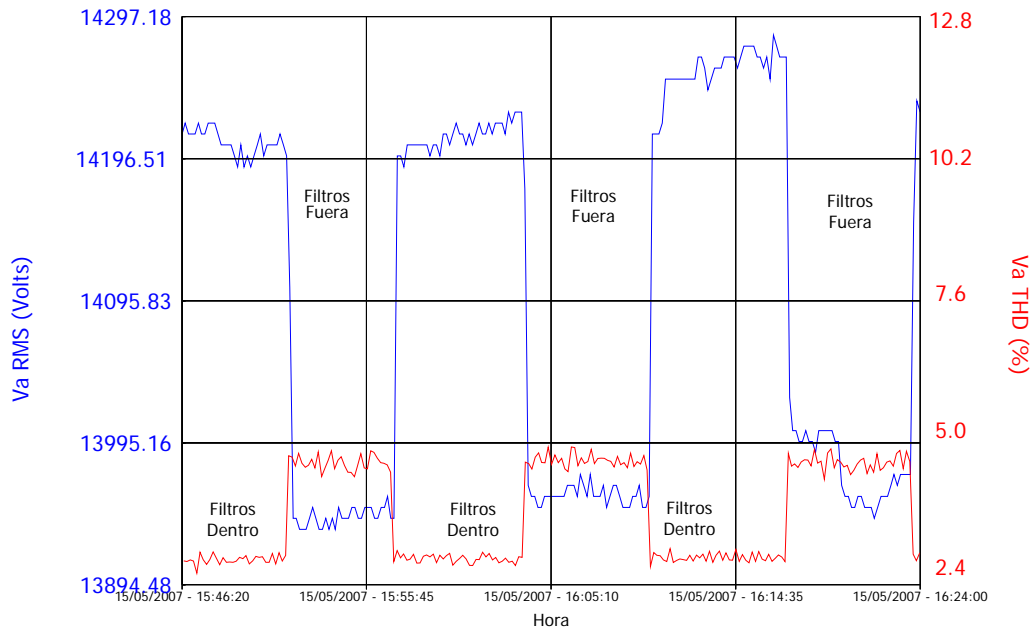


Fig. 17 Perfil de tensión y Distorsión Armónica Total de Voltaje (DAT ó THDv).

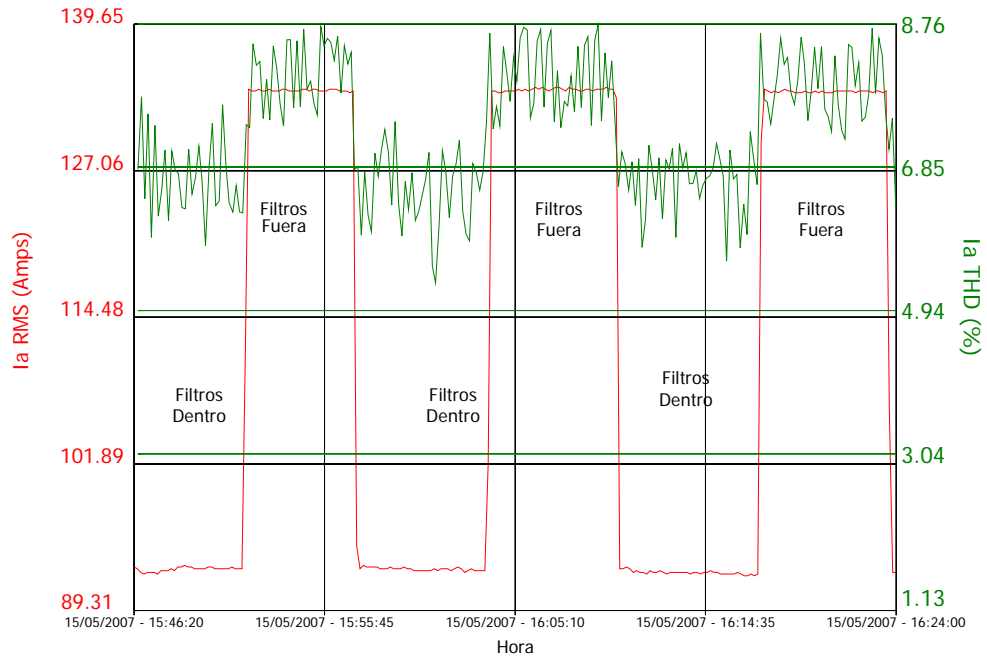


Fig. 18 Perfil de Corriente y Distorsión Armónica Total de corriente (DTC ó THDi).

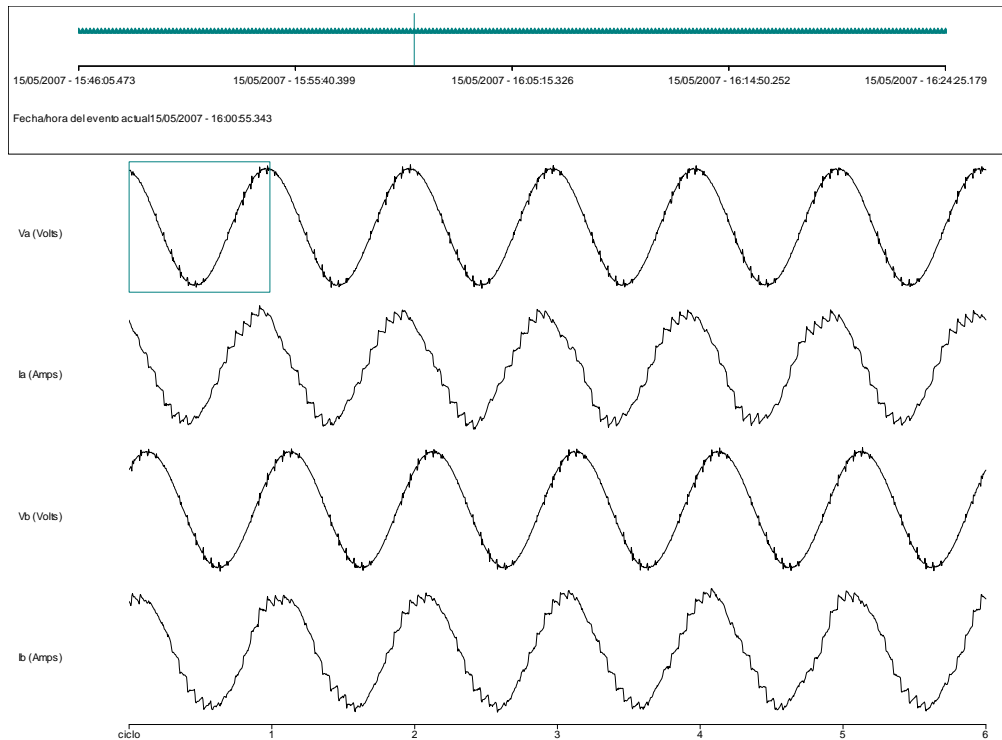


Fig. 19 Forma de Onda de Tensión y Corriente con filtros conectados.

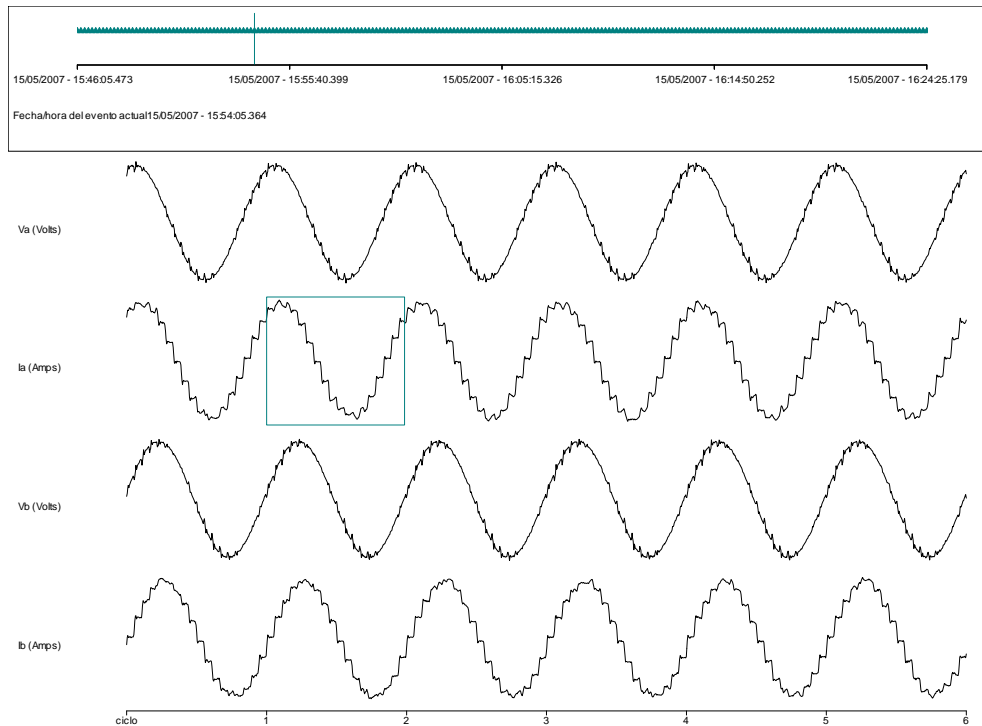


Fig. 20 Forma de Onda de Tensión y Corriente con filtros desconectados.

**Tabla 9 Resumen de mediciones en Bus (nivel 13.8 kV) y alimentador A4 de motor de 5000 HP, conectando y desconectando los filtros de 5ª y 7ª armónica.**

Parámetro:	Medición con filtros:	Medición sin filtros:	Observaciones o rango permitido:
voltaje RMS	$1.02 \text{ pu} \leq V_M \leq 1.03 \text{ pu}$	$1.0 \text{ pu} \leq V_M \leq 1.01 \text{ pu}$	$0.97 \leq V \leq 1.03 \text{ pu}$
Corriente RMS	$92 \leq I_M \leq 93 \text{ A}$	$133 \text{ A} \leq I_M \leq 134 \text{ A}$	-----
Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi)	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 7.7 \%$	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 8.8 \%$	Rango permitido: $\text{DTC}=\text{THDi} \leq 5.0 \%$
Distorsión Armónica Total de Tensión (THDv)	$\text{DAT}=\text{THDv} < 2.5 \%$	$\text{DAT}=\text{THDv} < 4.5 \%$	Rango permitido: $\text{DAT}=\text{THDv} \leq 6.5 \%$
Potencia real (P)	2426 KW	3563 KW	Con filtros se ahorran 1137 KW por motor (-47% de ahorro)
Potencia reactiva (Q)	-1023 KVAR	+928 KVAR	***
Factor de potencia (F.P.)	F.P. $\leq -0.93$ Adelantado	F.P. = + 0.96 Atrás	Es correcto

\*\*\* Con los filtros de 5ª y 7ª armónica conectados del motor de 5000 HP, se suministran 928 KVAR al motor y 1023 KVAR al tablero de 13.8 KV, llegando éstos últimos al bus de 115 KV que se distribuyen en la propia planta. Cuando salen de operación los filtros de los motores de 5000 HP, el FP medido en 115 KV es de 0.93 atrasado y al insertarse se tiene un FP de 0.96 atrasado.

## 6. Conclusiones

Se midió en la acometida de Kimberly (115 KV), en los alimentadores del tablero de 13.8 KV y en los 2 motores de 5000 HP (A3 y A4) estando la planta en condiciones normales de operación con y sin los filtros de 5<sup>a</sup> y 7<sup>a</sup> armónicas.

Cabe mencionar que cada controlador de motor se alimenta en 2.3 KV a través de un transformador trifásico delta-3delta con defasamientos angulares de -20, 0 y +20 grados eléctricos, de tal manera que desde el bus de 13.8 KV se tienen controladores de 18 pulsos, los cuales generan corrientes armónicas de 17<sup>ava</sup>, 19<sup>ava</sup>, 35<sup>ava</sup>, 37<sup>ava</sup>, 53<sup>ava</sup>, 55<sup>ava</sup>.... de magnitudes muy pequeñas, teniendo también pequeños voltajes armónicos del mismo orden.

Del análisis de las mediciones de parámetros eléctricos y calidad de la energía se concluye que están dentro de los límites permisibles establecidos en las Normas CFE L0000 45 y IEEE Std-519 (se incluye reporte).

Con la finalidad de observar los beneficios de la aplicación de los filtros, se presenta la siguiente tabla comparativa donde se observa el ahorro del 10% de la energía demandada en ése tablero y representa el 47% de la potencia real de los motores:

Resumen de mediciones en bus y alimentador principal de tablero en 13.8 kV.

Parámetro:	Medición con filtros:	Medición sin filtros:	Observaciones o rango permitido:
voltaje RMS	$1.02 \text{ pu} \leq V_M \leq 1.03 \text{ pu}$	$1.0 V_M \geq 1.01 \text{ pu}$	$0.97 \leq V \leq 1.03 \text{ pu}$
Corriente RMS	$735 \leq I_M \leq 748 \text{ A}$	$815 \text{ A} \leq I_M \leq 820 \text{ A}$	-----
Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi)	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 1.58 \%$	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 2.4 \%$	$\text{DTC}=\text{THDi} \leq 5.0 \%$
Distorsión Armónica Total de Tensión (THDv)	$\text{DAT}=\text{THDv} < 2.5 \%$	$\text{DAT}=\text{THDv} < 4.5 \%$	$\text{DAT}=\text{THDv} \leq 6.5 \%$
Potencia real (P)	20091 KW	22365 KW	Con filtros se ahorran 2274 KW (-10% de ahorro)
Potencia reactiva (Q)	-5433 KVAR	-1642 KVAR	***
Factor de potencia (F.P.)	F.P. $\leq$ - 0.96 Adelantado	F.P.= - 0.99 Adelantado	Es correcto

\*\*\* La potencia reactiva suministrada al bus de 115 KV se distribuye en la propia planta. Cuando salen de operación los filtros, el FP medido en 115 KV es de 0.93 atrasado y al insertarse se tiene un FP de 0.96 atrasado.

## 7. Referencias

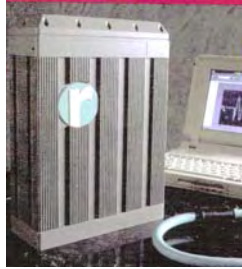
- [1] CFE-Subdirección de Distribución, "Procedimiento para Evaluar los Compromisos de Calidad de Suministro", Enero 2001.
- [2] CFE, Especificación CFE L0000-45, "Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y de Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica", Sep. 2004.

## 8. Anexos

### A1. Características de los Equipos de Medición.

Los equipos de medición de calidad de la energía con los que cuenta la UIE para realizar mediciones son:

- **Registrador de Calidad de la Energía, marca Fluke RPM (Reliable Power Meters)**



Este equipo tiene las siguientes especificaciones.

- ❑ 9 canales de conexiones ( 4 de voltaje, 5 de corriente)
- ❑ Rango de voltaje de 0 a 707 volts RMS, 1000 volts peak
- ❑ Resolución en voltaje 14 bits, 90 milivolts.
- ❑ Precisión en voltaje menor a 1% a FS, 0.5% típico.
- ❑ Tiempo de respuesta RMS 1 ciclo.
- ❑ Frecuencia de impulso de muestreo de 2 Mhz.
- ❑ Resolución de Impulso 10 Bits, 12 volts.
- ❑ Precisión de Impulso 5% FS.
- ❑ Frecuencia de muestreo: 7.8 KHz, 128 veces por ciclo.
- ❑ Medición de frecuencias: 45-65 Hz, resolución 0.1 Hz.
- ❑ Generación de curva ITIC, CBEMA & ANSI.
- ❑ Rango de Impulso: 100 – 6400 volts pico.
- ❑ Medición de Armónicas: 0 – 63° armónica, magnitudes de voltaje y corriente, y ángulo de fase.
- ❑ Medición de Flicker: 0.01 Hz a 30 Hz de acuerdo norma IEC estándar 868.
- ❑ Memoria interna: 2.1 Gb en disco duro, 4 Mb en memoria RAM.
- ❑ Memorización de eventos: 6000 eventos simultáneos en voltaje y corriente.
- ❑ Gabinete a prueba de intemperie tipo uso rudo.
- ❑ Especificaciones Ambientales: 0 – 50 °C, 32 122 ° Fahrenheit 100% HR sin condensación.
- ❑ Certificaciones: FCC, UI, CSA, CE.

➤ **Analizador Portátil de Potencia, PA-9 Plus.**



Este equipo tiene las siguientes características de medición y especificaciones de diseño.

- ❑ 4 Canales de Voltaje y 5 de Corriente
- ❑ Rango:
- ❑ Voltaje 600 V AC o DC
- ❑ Corriente (0 – 6000 Amperes) en función del TC seleccionado
- ❑ Lectura de 256 muestras/ciclo simultáneamente en cada canal de entrada
- ❑ Captura eventos de subciclos
- ❑ Configuraciones de conexión comunes soportadas en las mediciones de potencia
- ❑ Información local inmediata y análisis usando el display gráfico
- ❑ 4 grabaciones simultáneas
  - Voltaje y corriente RMS
  - Límites excedidos de Sags, Swells, armónicas y eventos transitorios
  - Formas de onda (por evento, tendencias de THD, armónicas hasta 63ª, flicker, etc.)
  - Todos los parámetros de Flujos de potencia.
- ❑ Memoria interna no volátil de 12 MB
- ❑ Puerto de comunicación RS-232 115 Kbps
- ❑ Modem interno opcional
- ❑ Memoria de transferencia removible opcional
- ❑ Análisis de datos remotamente
- ❑ Estuche resistente a la intemperie, portátil y robusto
- ❑ Temperatura de operación 0° a + 50° C
- ❑ Humedad hasta 90%
- ❑ Error de ángulo de fase 0.1% referido a 60 H