



Comité Nacional Paraguayo
VII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO
25, 26 y 27 DE OCTUBRE DE 2006

Unión de Ingenieros de la ANDE
VI SEMINARIO TÉCNICO – U.I.A

Estudio de Calidad del Suministro de Energía en usuarios alimentados con alimentador exclusivo en 23 kV.

Ing. Julián Ecurra Meza

Ing. Guido Rafael Chávez

ANDE – Administración Nacional de Electricidad

Paraguay

RESUMEN

En base a reclamo presentado por usuarios industriales de la ANDE (Cervecería Paraguaya-CERVEPAR y Fábrica Paraguaya de Vidrios-FPV), alimentados en MT (23 kV), con alimentador exclusivo desde la SSEE Villeta, referente a fluctuaciones importantes de tensión que perjudicaban el normal funcionamiento de sus equipos y la actuación de sus protecciones, se realizaron mediciones de tensión y corriente, registro y posterior análisis de dichos registros.

Tomando como parámetros a normas internacionales que rigen el desempeño de los sistemas eléctricos y los límites de perturbación permitidos en los mismos, fueron identificados niveles de distorsiones armónicas en corriente y tensión superiores a dichos límites.

El origen de las perturbaciones fue detectado en el horno de arco eléctrico propiedad de Fábrica Paraguaya de Vidrios. Una vez identificado los niveles y el origen de las perturbaciones citadas se concluyó que las mismas eran las causantes de las fluctuaciones reclamadas recomendándose la instalación de filtros de armónicos para la solución de los problemas presentados.

Dichos filtros han sido instalados por Fábrica Paraguaya de Vidrios en la alimentación del horno con lo cual se ha conseguido la disminución de las perturbaciones a niveles permitidos por las normas. Como resultado los inconvenientes inicialmente observados han desaparecido.

PALABRAS CLAVES

Calidad de Energía, Distorsiones Armónicas, Horno de Arco Eléctrico.

julianescurra@hotmail.com

guido_chavez@ande.gov.py

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el término Calidad de Energía es conocido y muy tenido en cuenta por los tres principales sectores involucrados en un sistema eléctrico: el productor, el consumidor y el fabricante de equipos. La globalización y la aplicación masiva de electrónica de potencia, microprocesadores, etc. conducen a que día a día mayor cantidad de gente conozca el significado del mencionado término, frecuentemente por sus desagradables implicancias.

El industrial ha debido incorporar alta tecnología para mantenerse en el mercado sumamente competitivo, dependiendo cada vez más de la “perfección” del suministro eléctrico. Sus equipos son sumamente sensibles a tal perfección, especialmente en lo que se refiere a interrupciones, huecos de tensión y armónicas, siendo a su vez tales equipos muy contaminantes del producto eléctrico. El usuario comercial es también muy afectado, ya que sus procesos son cada día más dependientes de la energía que reciben los microprocesadores a cargo de los mismos. El usuario domiciliario es afectado por los huecos de tensión e interrupciones, mas en forma de molestia que en grandes pérdidas económicas como son los dos casos anteriores. A pesar de ello, no debemos olvidar que el número de usuarios domiciliarios es muy superior al de industriales y comerciales, por lo que su protesta alcanza grandes niveles de difusión, que puede perjudicar en gran medida a la imagen y a las operaciones comerciales de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

Muchas de las alteraciones presentes en la actualidad en nuestro sistema eléctrico, perturbaciones tales como debidas a tormentas eléctricas intensas (con gran cantidad de rayos y relámpagos), cortocircuitos, variaciones de cargas excesivamente súbitas, etc., existen desde los inicios de la utilización masiva de la energía eléctrica. La razón por la que ahora la calidad es crítica, radica en los siguientes hechos: la difusión de equipos contaminantes, el aumento de la sensibilidad de aparatos de uso final y las mayores exigencias por parte de los usuarios.

Los equipos de potencia tradicionalmente fueron diseñados para resistir estos fenómenos sin un costo extra demasiado grande, pero hoy los precios de los equipos sufren una dura competencia, por lo que serían excesivamente altos, si los equipos deben diseñarse con el mismo criterio anterior de robustez.

Respecto a la presencia de armónicas en los sistemas se ha sufrido siempre, la polución en los sistemas eléctricos fue introducida inicialmente por las cargas no lineales, como transformadores e inductores, pero el nivel de perturbación nunca alcanzó los niveles actuales. La tercera armónica producida por la saturación de los circuitos magnéticos se conoce desde hace más de 120 años, teniéndose solo en cuenta en aquellos casos donde producía interferencias en los circuitos telefónicos. La componente deformada se reducía a pequeños porcentajes, no mayores al 3 ó 5 % de la carga nominal del sistema. La atenuación de esta componente o la disminución de sus efectos no resultaban demasiado complejas fundamentalmente en razón de su magnitud. Una singular preocupación surgió durante los años cincuenta cuando las acuciantes necesidades energéticas de los países más desarrollados de la época, condujeron al empleo masivo de capacitores en paralelo, con el objeto de liberar carga en los sistemas eléctricos, equipos que por tener su impedancia inversamente proporcional a la frecuencia, magnificaron la presencia de armónicas en corriente. Tal problema no paso de ser un fugaz inconveniente, que se soluciono mediante el sobredimensionamiento de las protecciones [1].

El real problema de contaminación armónica aparece a fines de los 70' y principios de los 80' con la amplia difusión de la electrónica de potencia, debido a sus características específicas de

no linealidad y conmutación sumamente veloz. En la actualidad, se esta produciendo una verdadera carrera entre la polución creada por la electrónica de potencia y su creciente sensibilidad por una parte, y en el otro, el diseño de nuevos dispositivos correctivos o de mitigación, basados en la electrónica de potencia. O sea que la electrónica de potencia se encuentra en los dos campos, como generador y corrector de contaminación.

2. HORNO DE ARCO ELECTRICO

Un generador de problemas de calidad de potencia es el horno de arco (Figura 1), que es el tema del presente caso de estudio, el cual se encuentra en funcionamiento en los sistemas eléctricos desde hace varios años, siendo su principal efecto causado por el considerable tamaño en lo que se refiere al requerimiento de potencia, respecto del sistema donde se conecta.

La característica tensión-corriente de un arco eléctrico es típicamente no lineal. Luego de la ignición del arco, la tensión disminuye así como la corriente se incrementa quedando solo limitada por la impedancia de la fuente y por la tensión de arco. El arco se presenta como una resistencia negativa. La tensión sobre el arco posee una forma trapezoidal, cuya magnitud es función del tipo y longitud del arco, por lo que es sumamente estable.

El contenido de armónicas en hornos de arco eléctrico es algo similar al de cualquier otra carga de arco, siendo mucho más impredecible. El principal problema es la imposibilidad de lograr un balance de fases, especialmente durante las etapas de fusión (el “clavado” del electrodo en la masa recién volcada en el horno produce grandes variaciones) siendo más probable lograr el balance en el periodo de “afino”.

La corriente generalmente no es periódica, con un espectro continuo de armónicas e interarmónicas, siendo predominantes las armónicas (múltiplos enteros) comprendidas entre la segunda y la séptima. Durante el afino las corrientes son más simétricas y cíclicas, por lo cual existe una considerable reducción de las armónicas pares y las interarmónicas [2].

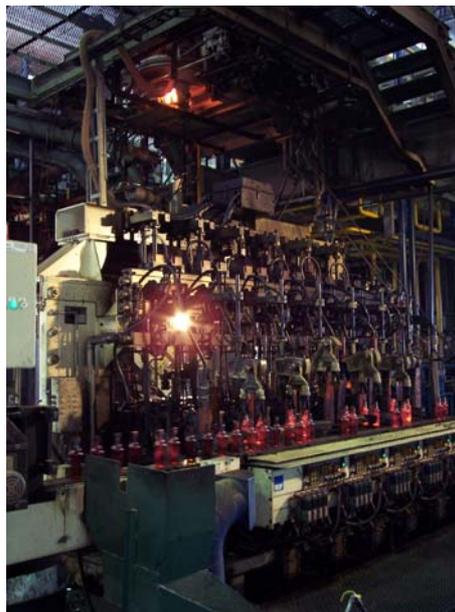


Figura 1: Descarga de la masa fundida de vidrio del horno de arco eléctrico en los moldes para fabricación de botellas Fábrica Paraguaya de Vidrios

3. CONFIGURACION DEL SISTEMA ELECTRICO

Los usuarios están conectados al sistema de distribución por medio del alimentador exclusivo VTA-6 en 23kV correspondiente a la SSEE Villeta. Dicha SSEE posee dos transformadores de potencia de 20 MVA, de los cuales el transformador 2 energiza la barra B del cual parte el alimentador citado.

Dicho alimentador posee una longitud de 8500 m y en el final de línea se bifurca para ambos usuarios, que poseen una carga contratada de 3MVA por CERVEPAR y de 2MVA por FPV.

Aunque la carga contratada por FPV se encuentra limitada al valor mencionado, sus instalaciones cuentan con dos trafos de 2000 kVA cada uno, más uno de 1250 kVA, que es el encargado de alimentar al trafa seco de 1000 kVA y relación de transformación 380/190 V, que suministra potencia al horno de arco eléctrico.

4. NORMAS DE REFERENCIA PARA ESTUDIOS DE CALIDAD DE ENERGIA

Para la realización del presente estudio de calidad de energía se tomaron como referencia los valores límites para variación de tensión establecido en el reglamento de media tensión de la ANDE [3], y los valores límites la inyección de armónicos de corriente y distorsión armónica de tensión (Tabla I) establecidos en las normas IEEE 519 e IEC 61000-3 [4], [5].

Tabla I: Límites de Distorsión de Voltajes – IEEE Std. 519 – 1992

VOLTAJE BUS A PCC	DISTORSIÓN INDIVIDUAL DE VOLTAJE [%]	DISTORSIÓN TOTAL DE VOLTAJE [%]
69 [KV] y menos	3.0	5.0
69.001 [KV] a 161 [KV]	1.5	2.5
161.001 [KV] y más	1.0	1.5

5. ESTUDIOS

Fue conformado un comité de estudio con representantes de los departamentos de Mediciones y Operación de Distribución de la División de Operación y Mantenimiento de la Gerencia Comercial, y los departamentos de Estudios Eléctricos y Operaciones de la División de Operaciones de la Gerencia Técnica.

En dicho comité fueron analizados los reportes de eventos remitidos por la parte reclamante, siendo comparados los mismos con los reportes de eventos del Sistema Interconectado Nacional (SIN), los reportes de eventos de alimentadores de la EESS Guarambaré, la SSEE Villeta, y los eventos registrados en los medidores electrónicos instalados a la salida del alimentador exclusivo VTA 6, en el puesto de medición de CERVEPAR y en el puesto de medición de FPV.

Se constató con dichos reportes, que eventos registrados y reclamados por CERVEPAR y FPV no tenían relación con las operaciones registradas en el SIN y tampoco con eventos asentados en los registros de operaciones de distribución, tampoco en los registros obtenidos de los medidores electrónicos podían ser constatados dichos eventos, por lo que fueron instalados equipos analizadores de red.

6. MEDICIONES REALIZADAS

6.1 EQUIPOS UTILIZADOS

El departamento de Mediciones de Distribución preparó para la realización de las mediciones, equipos analizadores de red (Figura 2), de la marca DRANETZ-BMI, para ser instalados en los puestos de medición de CERVEPAR, FPV, y en la barra B de la SSEE Villeta.

Previo a la instalación de dichos equipos, los mismos fueron probados y adecuados a las condiciones que presentan los puntos de medición citados. Para el efecto fueron utilizados un calibrador marca FLUKE 5520A, y una mesa de control y ajuste de medidores marca ZERA (Figura 3).



Figura 2: Equipos Analizadores de Red portátiles y de mesa al momento de ser calibrados

También fueron fabricados bobinados que fueron instalados en serie en el circuito secundario de medición de manera a que fueran amplificadas señales de corriente para el caso que se dieran operaciones de baja carga del lado del cliente, ya que los transformadores de corriente (TC`s) en media tensión son de relación /5A; dichas bobinas también fueron testadas (Figura 4) previa a la instalación de los equipos como se puede apreciar en las figuras.



Figura 3: Prueba de equipos Analizadores de Red en la mesa de control y ajuste



Figura 4: Preparación de las bobinas para realización de ensayos

6.2 MEDICIONES REALIZADAS – PRIMERA CONFIGURACIÓN

Para la primera serie de registros realizados fueron instalados los analizadores de red, como ya hemos citado en los tres puestos de medición en consideración, Barra B de la SSEE Villeta, CERVEPAR y FPV. Bajo esta configuración los equipos estuvieron instalados desde el 22/02/2006 al 16/03/2006, habiéndose también instalados analizadores de red por parte de los usuarios dentro de sus instalaciones durante la primera semana de nuestros registros.

Al realizar el análisis de los datos parciales obtenidos se observó lo siguiente:

- Valores de tensión se encontraban dentro de los valores permitidos por el reglamento de MT de la ANDE ($\pm 5\% V_n$), aunque dichos valores estaban en el límite inferior en final de la línea de 23 kV.
- Valores de distorsión armónicas total (Vthd) en tensión de hasta el 8% (Figura 5), valor superior al límite establecido en las normas de referencia utilizadas (VThd igual a 5%). Dichos valores fueron observados tanto en el punto de medición de FPV como en el de CERVEPAR, estando al mismo tiempo los valores de Vthd en la barra B de la SSEE Villeta dentro de los valores permitidos.
- Valores de distorsión armónica total (Ithd) en corriente en el orden del 35% (Figura 5), en el punto de medición correspondiente a FPV, estando al mismo tiempo dichos valores en el punto correspondiente a CERVEPAR por debajo del 10%.

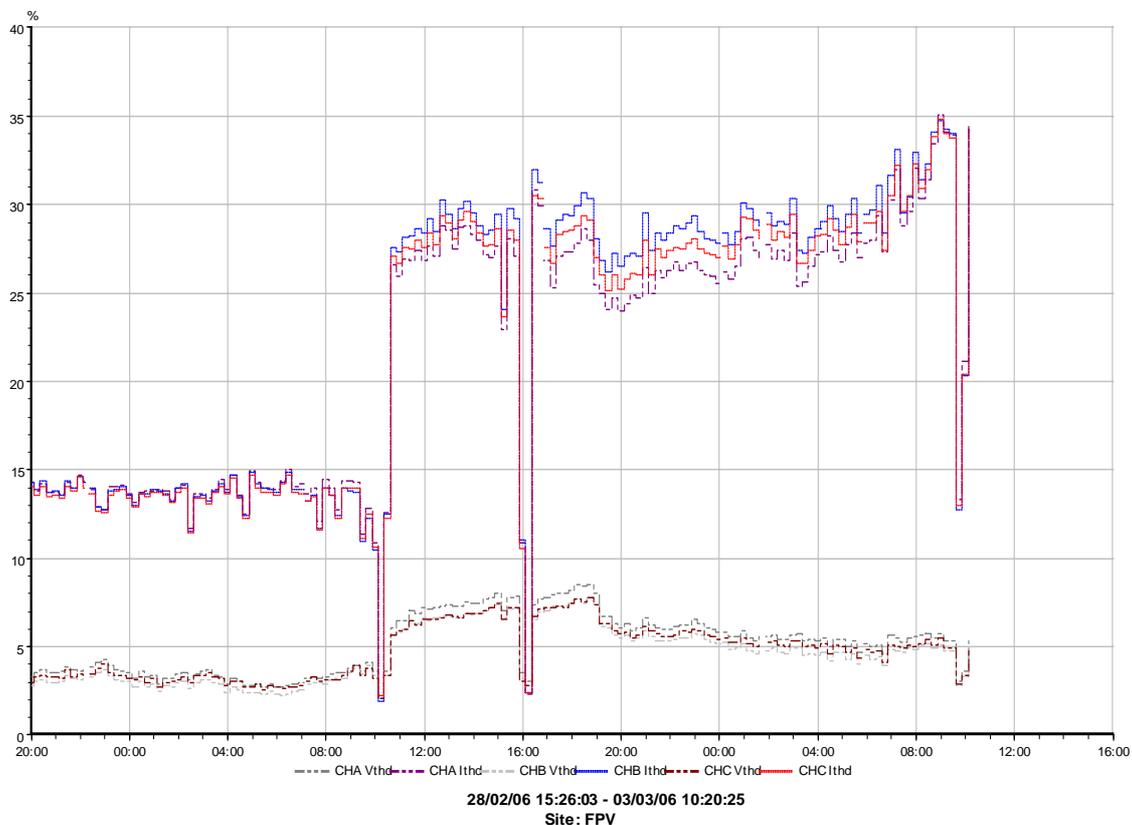


Figura 5: Vista de comportamiento de armónicos de corriente y tensión donde se puede observar la amplificación de los mismos coincidente con la entrada en servicio del banco de capacitores

- Amplificación de los armónicos de corriente y tensión en el momento de puesta en servicio del banco de capacitores de FPV, para compensación de energía reactiva.

Con este análisis se dispuso concentrar las mediciones en la barra B de la SSEE Villeta y en el puesto de medición de FPV.

Los resultados preliminares fueron comunicados a los responsables técnicos de ambas plantas industriales.

6.3 MEDICIONES REALIZADAS – SEGUNDA CONFIGURACIÓN

Desde el 17/03/2006 hasta el 31/03/2006 fueron realizadas las mediciones, con las mismas ya concentradas en la fuente de las perturbaciones. FPV dejó fuera de servicio su banco de capacitores de manera a observar el comportamiento de los armónicos bajo esa condición. Con los nuevos registros y correspondiente análisis se obtuvieron los siguientes datos:

- Valores de V_{thd} en torno al 4% (Figura 6).
- Valores promedio de I_{thd} igual al 15%.
- Valores promedio de factor de potencia en torno a 0,85 (Figura 6).

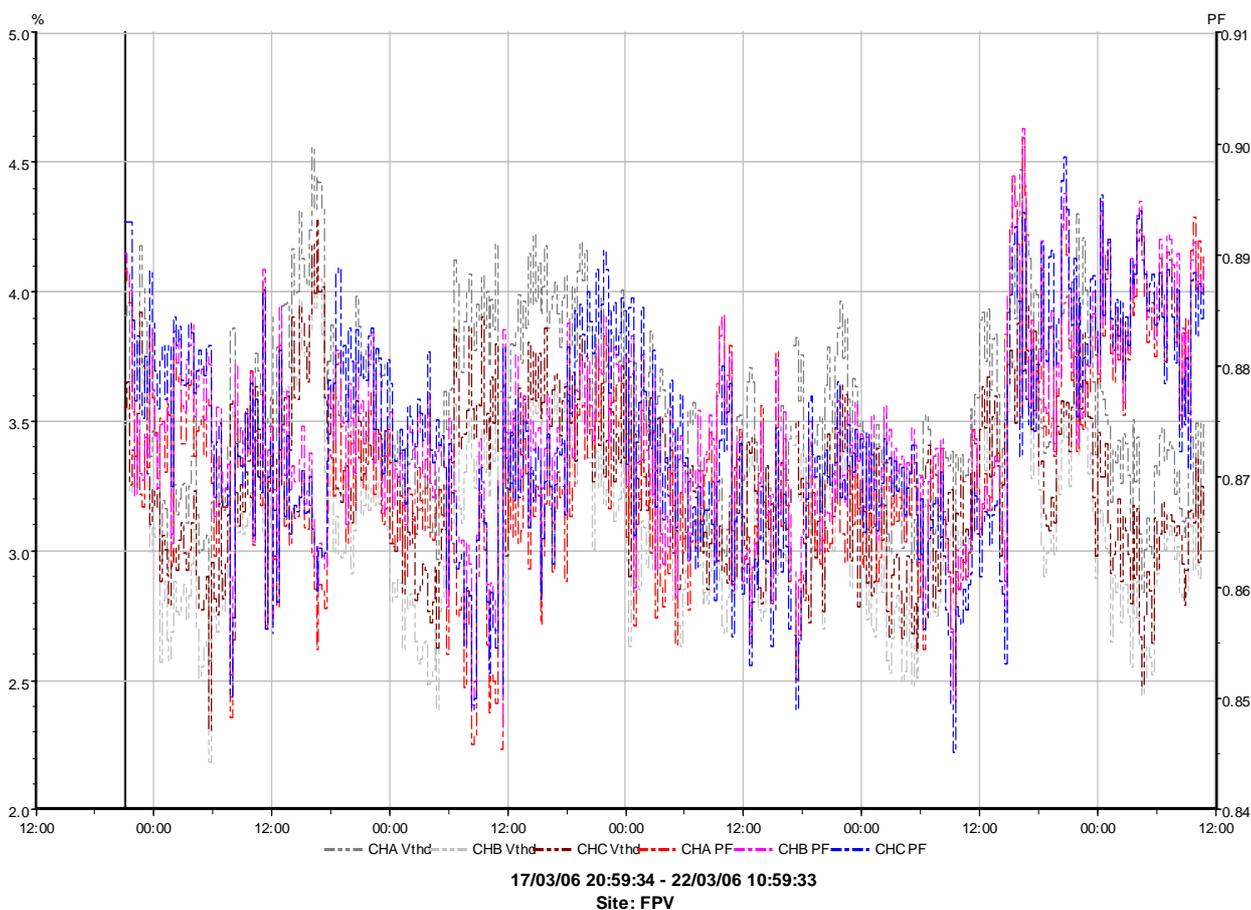


Figura 6: Perfil de valores de V_{thd} y Factor de Potencia en el puesto de medición de FPV

- Al realizar el análisis del tipo de carga del mismo se determinó que el horno de arco eléctrico producía los valores de perturbación observados.
- Que la entrada en servicio del banco de capacitores de compensación de energía reactiva amplificaba los efectos distorsivos del horno de arco eléctrico, pero en contrapartida la desconexión del mismo provocaba valores penalizados de factor de potencia.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los registros obtenidos y análisis realizados se concluyó que las perturbaciones observadas tenían su origen en la planta industrial de Fábrica Paraguaya de Vidrios, con valores muy por encima de los recomendados en las normas de referencia. Dichas perturbaciones producían la actuación de las protecciones de CERVEPAR, siendo las mismas reportadas como huecos de tensión o micro cortes de energía como si fueran ellas provocadas por la ANDE.

Las perturbaciones eran provocadas por la operación del sistema de control tiristorizado que posee el horno de arco eléctrico de fundición de vidrio.

En base a esto la ANDE recomendó que las instalaciones de Fábrica Paraguaya de Vidrios sean adecuadas de manera a minimizar las perturbaciones observadas o en todo caso proceda a la instalación de equipos que filtren los armónicos observados.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones Fábrica Paraguaya de Vidrios ha instalado Filtros de armónicos de tipo pasivo, posterior a lo cual se procedió a realizar nuevas mediciones, observándose valores óptimos de armónicos en tensión y corriente (V_{thd} en torno a 2% e I_{thd} en torno a 9% respectivamente, Figura 7). Dichas mediciones fueron realizadas del 13/09/2006 al 18/09/2006.

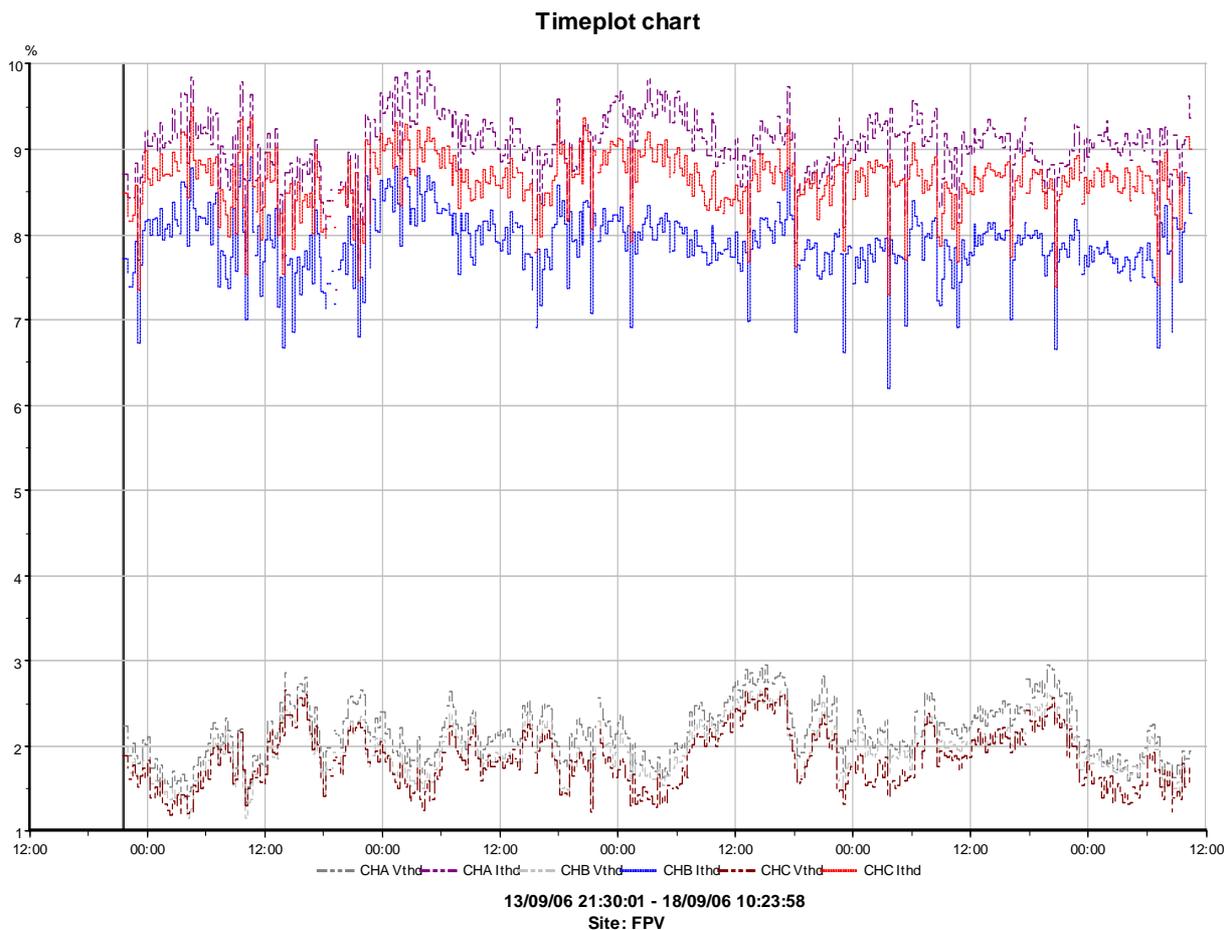


Figura 7: Perfil de distorsión armónica de tensión y corriente de FPV posterior a la instalación de Filtros de Armónicos

BIBLIOGRAFIA

- [1] Juan Rivier Abbad – Calidad del Servicio. Regulación y Optimización de Inversión (Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Tesis Doctoral 211, 1999)
- [2] Miguel Angel Gaudino, Módulo 2 – Sobretensiones y Armónicos “Curso Calidad de Potencia en la Distribución” (CIER, Montevideo, Uruguay, 2005)
- [3] Reglamento para Instalaciones Eléctricas de Media Tensión (ANDE, Paraguay, 1975).
- [4] Recommended Practices and Requiriments for Harmonic Control in Electrical Power System, (IEEE 519, 1992)
- [5] Limitation of emisión of harmonic current in low-voltage power suply systems for equipment with rated current grater than 16A (IEC 61000-3-4, 1998)

