



**DIEZ AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL CONTROL DE PERTURBACIONES  
MEDIANTE MEDICIONES NORMALIZADAS IEC**

**P. E. Issouribehere \*\***

**A. Galinski \***

**D. Bibé\***

**G. A. Barbera \*\***

**A. Marchueta \*\***

**\* ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina)**

**\*\* IITREE-LAT FI-UNLP (Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos-Laboratorio de Alta Tensión – Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata - Argentina)**

**RESUMEN**

En el área metropolitana de Buenos Aires – Argentina – se controla desde el año 1997 el nivel de contaminación por perturbaciones en la onda de la tensión. Las perturbaciones contempladas en este control son las armónicas y el flicker.

Las mediciones son realizadas por las propias Empresas Distribuidoras de Energía Eléctrica de la región, llamadas **A**, **B** y **C** en el presente artículo, mientras que el control de las campañas de medición es efectuado por el ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad). El IITREE (Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos) de la FI-UNLP (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata) colabora con el ENRE en asistencia técnica y auditorías de campo.

La implementación del control, el que se encuentra detallado en [1] y [2], se realiza a partir de dos campañas de medición simultáneas. En primera instancia, con equipos de bajo costo, se miden en un gran número de sitios de la red parámetros que son sólo indicadores de los niveles de armónicas y flicker existentes en el lugar. Luego, a partir de lo explorado en esta campaña preliminar, se escogen los sitios en los cuales se efectuarán las correspondientes mediciones de armónicas y flicker en forma normalizada. En esta ocasión se emplean equipos de alta prestación que responden a los requerimientos de las Normas IEC. Se efectúan así 45 mediciones de este tipo por mes entre las tres Distribuidoras. En aquellos casos en que los niveles de perturbaciones medidos en la tensión se encuentren por encima de los límites establecidos en la regulación existente – los que se fueron fijados a partir de las Normas IEC – las empresas son sancionadas y dicha sanción es aplicada hasta que el problema haya sido solucionado.

Se han cumplido los primeros diez años de este control, por lo que resulta apropiado llevar a cabo un detallado análisis de la información recolectada. En el presente artículo se presentan resultados de la campaña en forma estadística con el propósito de evaluar el grado de contaminación existente en las redes, como así también su evolución a lo largo de los años. Se comparan los niveles obtenidos en las tres Distribuidoras y en distintos tipos de redes, evaluando el grado de cumplimiento de cada una de ellas.

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con los niveles de referencia existentes en la actualidad.

**PALABRAS-CLAVE**

Armónicas – Control – Flicker – Límites de compatibilidad – Normas – Perturbaciones – Reglamentación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se presentan resultados de las mediciones de armónicas y flicker, utilizando procedimientos normalizados en base a las Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional correspondientes [3] [4], en el Área Metropolitana de Buenos Aires. Tal como fue mencionado en el Resumen, los Puntos donde los equipos normalizados IEC son colocados, surgen a partir de una campaña previa, más extensa, de la que se obtienen sendos indicadores para armónicas y para flicker.

Los equipos pertenecientes a la campaña previa son instalados directamente en las acometidas a domicilios de los usuarios de la red de BT. Mes a mes, de aquellos 30 Puntos en los que el indicador de armónica resultó más elevado, surgen los sitios en donde se instalarán los equipos de mayor prestación para el registro de armónicas. Se mide el parámetro **THD** (del Inglés *Total Harmonic Distortion*), más las armónicas individuales hasta la 40ª. Análogamente, de aquellos 15 Puntos con mayor valor del indicador de flicker se obtienen los sitios para medir flicker en forma normalizada. Para ponderar este fenómeno se mide el **Pst** (del Inglés *Short-term Flicker Severity*).

En ambos casos, la duración de la medición es de al menos una semana integrando las magnitudes con un período de 10'. Adicionalmente, es necesario medir la potencia ya que, en caso de que determinado Punto resulte penalizado, esta penalización es proporcional a la energía consumida en dichas condiciones.

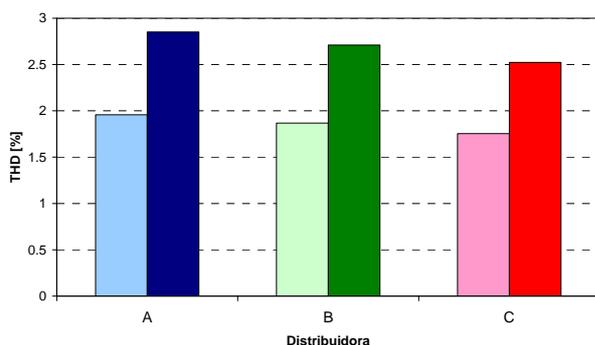
Con el fin de lograr una mejor gestión de estos equipos de mayor prestación, que son de costo elevado, los mismos no son instalados directamente en la red de BT, sino en Centros de Transformación MT/BT. Es decir que los equipos son colocados en los 45 CTs desde donde son alimentados aquellos usuarios en los que se registraron los mayores valores de los indicadores de armónicas y flicker.

Por lo tanto, se destaca que prácticamente la totalidad de mediciones analizadas en el artículo ha sido efectuada en el secundario de los transformadores MT/BT existentes en la red.

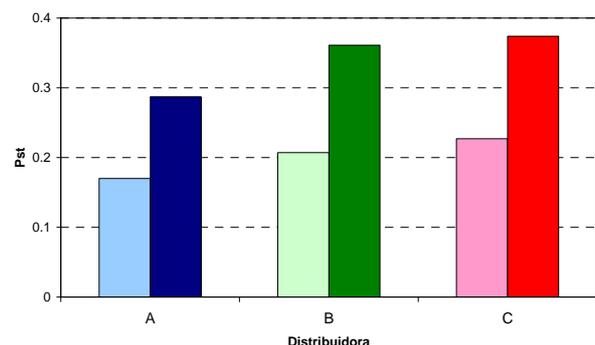
Los parámetros estadísticos que serán mayoritariamente utilizados en los distintos análisis son el valor medio y el Percentil 95. Este último, es el valor superado durante el 5 % del tiempo o por el 5 % de los sitios, según el caso, y es cercano al máximo absoluto.

Los estadígrafos utilizados a continuación representan a varios miles de mediciones normalizadas IEC durante los diez años de control.

## 2. COMPARACIÓN DE LOS VALORES REGISTRADOS EN LAS TRES DISTRIBUIDORAS



**Fig. 1.** Comparación de THD en las tres Distribuidoras.



**Fig. 2.** Comparación de Pst en las tres Distribuidoras.

En este párrafo se compararán los resultados obtenidos en las tres Distribuidoras.

Las recomendaciones más recientes sobre la forma de caracterización de Sistemas están contenidas en [5] de CIGRE. Se recomienda para caracterizar Sistemas utilizar los niveles representativos del 95 ó 99% de los sitios explorados. La información procesada en este párrafo fue condensada en el estadígrafo 50% debido a su mejor resolución. Naturalmente, sería factible presentar los resultados en el formato CIGRE.

## 2.1 Armónicas

En lo que a armónicas se refiere, para efectuar una comparación general de resultados, se emplea el parámetro THD descrito anteriormente. La Fig. 1 muestra dicha comparación; en la que se han representado el valor medio de todas las medias semanales y el valor medio de todos los P<sub>95</sub> semanales.

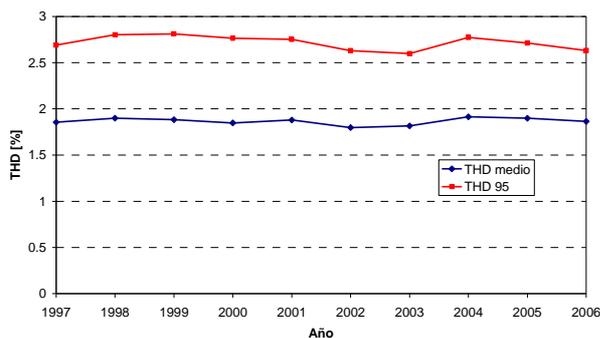
Se observan valores del mismo orden en las tres Empresas, aunque para ambos parámetros, se presentan los niveles más elevados en A, luego en B y por último en C.

## 2.2 Flicker

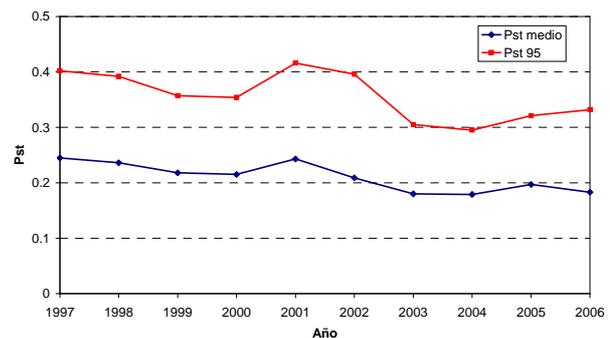
En cuanto a flicker, se utiliza directamente el Pst para comparar los distintos niveles. En la Fig. 2 aparece esta comparación. Se han empleado los mismos parámetros estadísticos que en armónicas para presentar la información.

Nuevamente, se observan valores del mismo orden de Pst, pero en este caso los valores más bajos fueron registrados en A, luego en B y por último en C. Es decir, contrario a lo que ocurre en el caso de armónicas.

## 3. COMPORTAMIENTO DE LAS PERTURBACIONES A LO LARGO DE LOS AÑOS



**Fig. 3.** THD a lo largo de los 10 años.



**Fig. 4.** Pst a lo largo de los 10 años.

En esta sección se presenta la tendencia de las perturbaciones controladas a lo largo de los años. Nuevamente se muestran los valores medios de las medias semanales y los valores medios de los P<sub>95</sub> semanales.

### 3.1 Armónicas

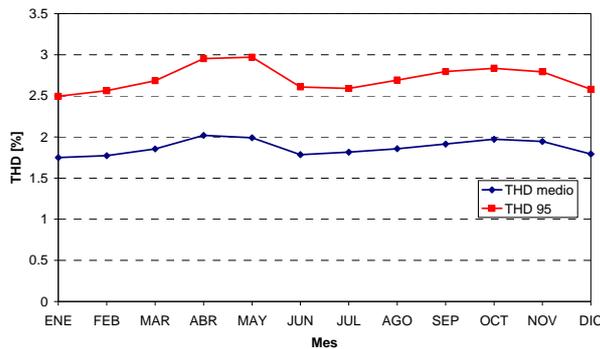
El resultado obtenido aparece en la Fig. 3. Para representar cada uno de los 10 años se han empleado la totalidad de mediciones semanales de las tres Distribuidoras pertenecientes a dicho año.

Se presentan valores del mismo orden a lo largo de toda la década. Tal como se presentará en los próximos apartados, el grado de cumplimiento en armónicas por parte de las Distribuidoras es, en general, amplio.

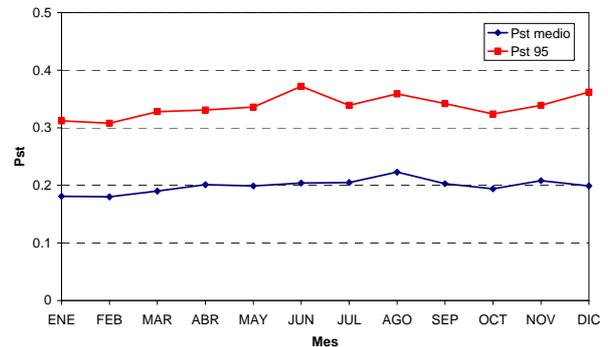
### 3.2 Flicker

En el caso de flicker, Fig. 4, nuevamente los valores registrados fueron similares año tras año. Sin embargo, es posible vislumbrar una tendencia levemente decreciente. La razón de ello podría tener origen en que el número de penalizaciones por flicker resulta sensiblemente mayor que el número de penalizaciones por armónicas, lo que podría haber llevado a las Distribuidoras a actuar sobre las redes con el propósito de normalizar los casos, aumentando así su capacidad.

## 4. COMPORTAMIENTO EN LOS DIFERENTES MESES DEL AÑO



**Fig. 5.** THD a lo largo de los meses.



**Fig. 6.** Pst a lo largo de los meses.

Se procesó la información obtenida de manera de lograr el comportamiento de las perturbaciones controladas a lo largo del año calendario. Para ello se vincularon mes a mes las mediciones en los 10 años de las tres Distribuidoras.

#### 4.1 Armónicas

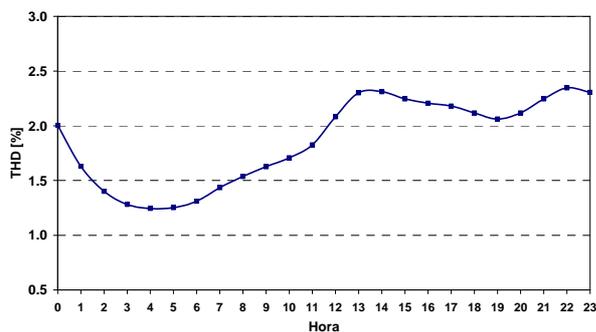
El comportamiento de éstas aparece en la Fig. 5. Si bien no se observa una importante diferencia entre los valores medidos en los diferentes meses, los valores más bajos se presentan en las estaciones verano e invierno.

Debido a la importante contribución en la emisión de armónicas por parte de los pequeños Usuarios, la explicación debería ser investigada principalmente correlacionando los hábitos de consumo de la población del Área Metropolitana de Buenos Aires (tipo de equipamiento utilizado estacionalmente, vacaciones y otros).

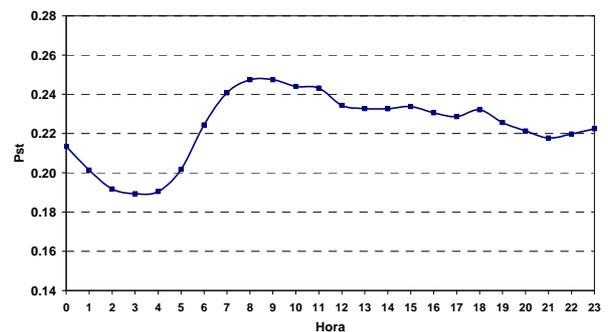
#### 4.2 Flicker

Los niveles de Pst en cada uno de los meses se muestran en la Fig. 6. En este caso el comportamiento de la perturbación es más errático que en el caso anterior, resultando difícil encontrar una justificación para los niveles medidos. También debe tenerse en cuenta los valores muy bajos registrados, del orden del umbral de medición normalizado.

### 5. COMPORTAMIENTO A LO LARGO DEL DÍA



**Fig. 7.** THD a lo largo del día.



**Fig. 8.** Pst a lo largo del día

Con el propósito de obtener el perfil de ambas perturbaciones a lo largo de un día típico se procesaron todas las mediciones, promediando lo registrado en las tres Distribuidoras en cada una de las 24 horas que componen un día.

## 5.1 Armónicas

En la Fig. 7 se muestra el perfil de las armónicas a lo largo de un día típico. La gráfica se adapta a la curva de carga típica de un Usuario Residencial, lo que indicaría una importante contribución de este tipo de usuarios al fenómeno global. [6]

## 5.2 Flicker

El perfil de flicker aparece en la Fig. 8 y, análogamente al anterior, se le encuentra una importante correlación con la curva de carga de Usuarios Generales [6]. Es decir, los valores más elevados de Pst se presentan en aquellos horarios con importante práctica comercial e industrial.

## 6. ARMÓNICAS EN DISTINTOS TIPOS DE REDES

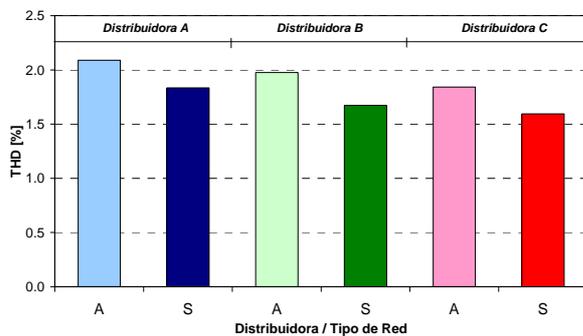


Fig. 9. THD según tipo de red. En cada Distribuidora.

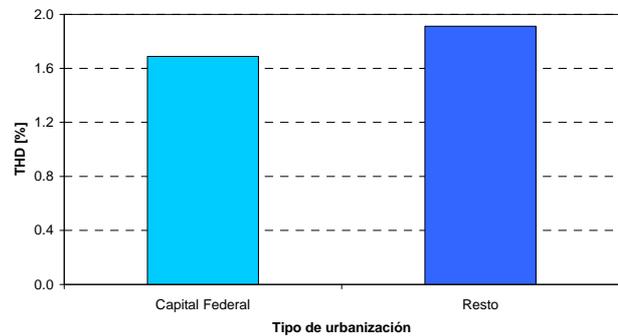


Fig. 10. THD en la Ciudad y el conurbano.

### 6.1 Según Tipo de Red

En la Argentina, el control del Nivel de Tensión en la red de BT tiene estrecha relación con el tipo de red que se trate, esto es aérea o subterránea. Más precisamente, los niveles de apartamiento con respecto al valor nominal de la tensión son más exigentes en el caso de red subterránea. Esto hace que las Distribuidoras actúen sobre las redes de modo de cumplir con estos niveles más exigentes, lo que debería verse reflejado también en el Nivel de Perturbaciones.

Por dicha razón, se procesó la información referida a armónicas según el tipo de red al que cada uno de los Puntos pertenece. Así se obtuvo el diagrama de barras de la Fig. 9, en el que se muestran para cada una de las tres Distribuidoras los niveles de THD registrados para redes aéreas y para redes subterráneas.

El resultado en las tres Distribuidoras fue exactamente el mismo, menores niveles de contaminación en las redes subterráneas. Esto confirmaría lo expresado anteriormente en cuanto a que las redes subterráneas, al ser más potentes, son capaces de absorber en mayor medida la emisión de armónicas.

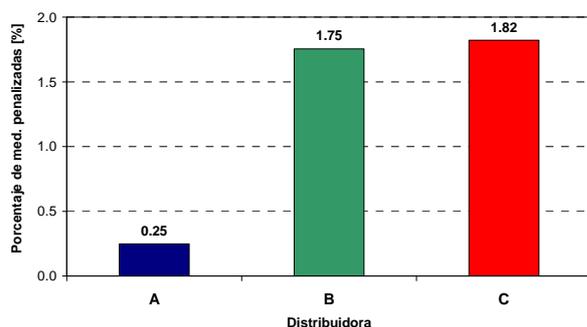
### 6.2 Según Área Geográfica

También se realizó una comparación entre los niveles de armónicas registrados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en el resto de las localidades del conurbano. Los resultados se muestran en la Fig. 10, en la que puede observarse un mayor grado de cumplimiento dentro de la Ciudad. Los valores registrados en el resto de las localidades del conurbano superan a los de la Capital Federal en un 15% aproximadamente.

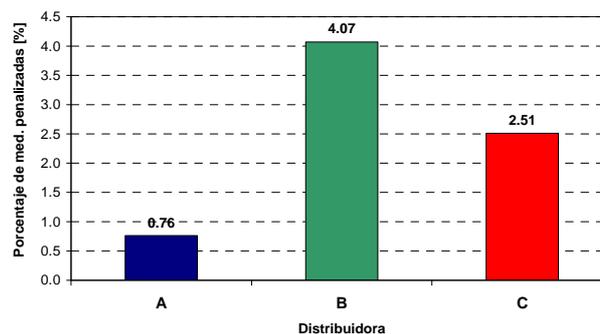
Esto se puede atribuir a la importante red de BT subterránea existente en Capital Federal la que, como fue descrito en el párrafo anterior, es más potente que su correspondiente aérea.

## 7. GRADO DE CUMPLIMIENTO POR PARTE DE LAS DISTRIBUIDORAS.

En esta sección se analizará el porcentaje de mediciones que resultaron penalizadas en cada Distribuidora.



**Fig. 11.** Mediciones penalizadas – armónicas.



**Fig. 12.** Mediciones penalizadas – flicker.

## 7.1 Armónicas

### 7.1.1 Casos penalizados

En lo que respecta a la medición de armónicas, las tres Distribuidoras, en general mostraron un alto grado de cumplimiento de los límites actualmente vigentes en el país.

Solamente un **1,2 %** del total de las mediciones efectuadas resultaron penalizadas. El porcentaje en cada una de las Distribuidoras es el que se muestra en la Fig. 11. Para una eventual generalización de los resultados, cabe recordar que las mediciones se realizan en áreas de la red con mayor nivel presunto de perturbaciones, con base a la campaña de monitoreo previa ya mencionada.

### 7.1.2 Armónicas más frecuentes

Al analizar las armónicas que se encuentran fuera de banda en aquellos casos penalizados, se observa una distribución relativamente homogénea entre prácticamente todas las armónicas hasta la 14ª inclusive.

Sin embargo, se presentó un gran número de casos – aproximadamente la mitad de todos los penalizados – en los que la armónica que transgrede los límites es la 15ª.

### 7.1.3 Comparación con los límites existentes

En la Tabla I se muestra una comparación entre los niveles de referencia y los resultados de las mediciones de la campaña, considerando solamente las armónicas hasta la 15ª.

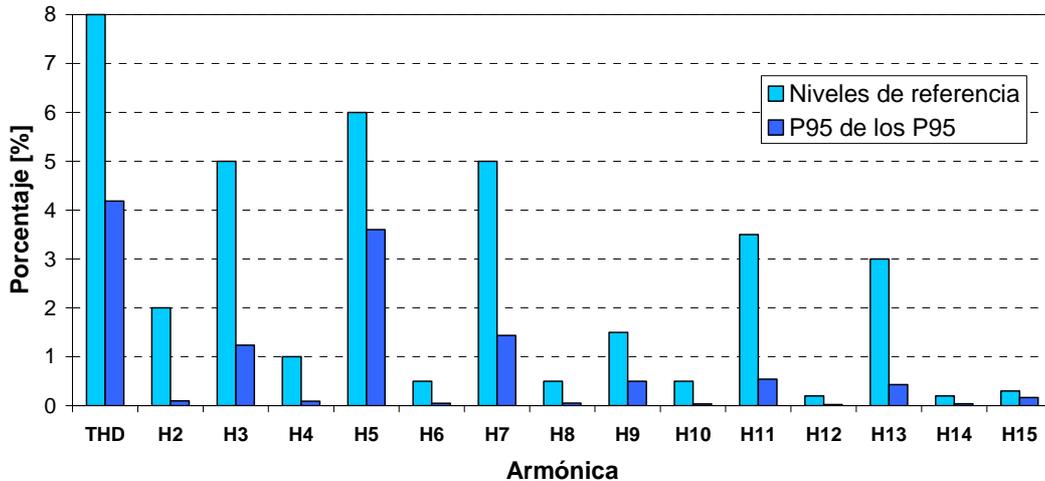
**Tabla I.** Comparación entre niveles de referencia de armónicas y valores medidos.

Armónica	THD	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
<b>Valor límite</b>	8.00	2.00	5.00	1.00	6.00	0.50	5.00	0.50	1.50	0.50	3.50	0.20	3.00	0.20	0.30
<b>Medio de los P<sub>95</sub></b>	2.87	0.04	0.65	0.03	1.78	0.02	0.74	0.02	0.21	0.01	0.26	0.01	0.20	0.01	0.08
<b>P<sub>95</sub> de los P<sub>95</sub></b>	4.19	0.10	1.24	0.09	3.60	0.05	1.43	0.05	0.50	0.03	0.54	0.02	0.43	0.04	0.17
<b>Proporción</b>	52.3%	5.0%	24.8%	9.0%	60.0%	10.0%	28.7%	10.7%	33.3%	6.8%	15.4%	10.5%	14.3%	18.3%	55.2%

Para representar los resultados se ha empleado el valor medio de los P<sub>95</sub> de cada medición, como así también el P<sub>95</sub> del Sistema desde los P<sub>95</sub> de cada sitio. Este último valor podría considerarse muy próximo al máximo esperable entre todos los CTs MT/BT existentes en el Área Metropolitana.

Con el propósito de llegar a una conclusión firme acerca del grado de cumplimiento existente, en la última fila se calculó para cada armónica la proporción entre el P<sub>95</sub> total y los valores límites existentes. Se observó que en el caso más desfavorable esta relación alcanzó sólo el 60% - para la 5ª armónica. En el resto de las armónicas, dicha relación se mantuvo por debajo de este valor.

En la Fig. 13 se muestra la misma información de la Tabla I, pero en formato gráfico con el propósito de facilitar la comprensión.



**Fig. 13.** Comparación entre niveles de referencia y medidos – representados por medio del P<sub>95</sub> de los P<sub>95</sub> semanales.

Los resultados son de gran utilidad para una futura discusión sobre los límites de las armónicas individuales, del tipo: ¿Los reiterados casos de incumplimiento de la 15<sup>a</sup> armónica se deben a la incapacidad de absorción por parte de la red o por excesivo requerimiento de la calidad, p.e. con respecto a armónicas similares como la 9<sup>a</sup>?

## 7.2 Flicker

### 7.2.1 Casos penalizados

Un total de **2,5 %** de sitios resultaron penalizados por flicker. El porcentaje en cada Distribuidora aparece en la Fig. 12. Se hace el mismo comentario que para el caso de armónicas.

### 7.2.2 Comparación con los límites existentes

El valor límite para el Pst en la red de BT es 1. En la Tabla II aparece la comparación entre el nivel de referencia y los valores medidos, en forma análoga a lo hecho para el caso de armónicas. Se observa aquí que los niveles registrados, en forma genérica, se encuentran más cercanos al valor límite que en el caso de armónicas.

**Tabla II.** Comparación entre niveles de referencia de flicker y valores medidos.

<i>Valor límite Pst</i>	1
<i>Medio de los P<sub>95</sub></i>	0.37
<i>P<sub>95</sub> de los P<sub>95</sub></i>	0.79
<i>Proporción</i>	79.4%

### 7.2.3 Tratamiento de Reclamos

Desde hace unos 8 años aproximadamente, el ENRE ha incorporado al control de perturbaciones la medición de flicker en ciertos casos en los que el usuario considera que está padeciendo de tal fenómeno y realiza a este Organismo el correspondiente Reclamo.

Es así como durante todo este tiempo se han realizado, en forma paralela al resto de la campaña convencional, un gran número de registros bajo esta modalidad. En estos casos, las mediciones son realizadas directamente en la acometida al domicilio del Usuario reclamante y no en los CTs, tal como se hace con el resto de las mediciones.

Los resultados obtenidos, obviamente no incluidos en los gráficos y tablas previamente analizados, muestran grados de cumplimiento no tan altos como en el caso de la campaña convencional. Es así como en los casos de Reclamo prácticamente el 60% de los casos analizados resultaron penalizados.



En la Tabla III se comparan los niveles de Pst medidos con el de referencia, tal como se hizo en la Tabla II. Al cotejar ambas Tablas, se nota una importante diferencia en los valores medidos. Como dato relevante, el valor medio de los P<sub>95</sub> de cada medición es prácticamente un 50% mayor que el nivel de referencia.

**Tabla III.** Comparación entre niveles de referencia de flicker y valores medidos. Casos de Reclamo.

<b>Valor límite</b>	1
<b>Medio de los P<sub>95</sub></b>	1.48
<b>P<sub>95</sub> de los P<sub>95</sub></b>	3.52
<b>Proporción</b>	352%

## 8. CONCLUSIONES

- El grado de cumplimiento, en cuanto al nivel de perturbaciones (armónicas y flicker), por parte de las empresas prestatarias del servicio eléctrico es elevado.
- Los niveles de perturbaciones registrados en las tres empresas Distribuidoras son del mismo orden. Aquella empresa con mayor nivel de armónicas posee el nivel más bajo de flicker y viceversa.
- Los niveles de armónicas a lo largo de los 10 años se han mantenido estables, mientras que en los de flicker se observa una tendencia levemente en disminución.
- Los niveles más bajos de armónicas se han registrado durante los períodos normalmente empleados por los usuarios residenciales para sus vacaciones. No se observa correlación alguna entre meses del año y nivel de contaminación por flicker.
- El perfil de armónicas a lo largo del día posee una gran vinculación con la curva de carga de usuarios residenciales, mientras que el de flicker se asemeja a aquella de usuarios generales.
- Los valores de armónicas registrados en redes subterráneas son menores que los registrados en redes aéreas. La razón de esto radica en que, en el control del nivel de tensión, las exigencias son mayores para redes subterráneas.
- Se observa mayor cumplimiento por armónicas que por flicker.
- El tratamiento de Reclamos por flicker ha permitido comprobar experimentalmente la mayor incidencia de este fenómeno en la red de BT, lo que se concluye de la gran proporción de mediciones de este tipo con valores por encima del nivel establecido. La campaña convencional mide el fenómeno en bornes de los transformadores MT/BT, el punto de mayor potencia de cortocircuito y por lo tanto con máxima capacidad de absorción de la red de BT, lo que hace que el mismo no sea observado en toda su plenitud. Sin embargo el hecho de que las penalizaciones sean proporcionales a la energía servida en mala condición, junto con otras ventajas operativas, reafirman el criterio actual del control convencional en CTs.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anexo a la Resolución ENRE 184/2000. Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2.
- [2] Anexo a la Resolución ENRE 99/97. Base Metodológica para el Control de la Emisión de Perturbaciones. Etapa 2.
- [3] IEC 61000-4-7. Part 4: “*Testing and measurement techniques. Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply system and equipment connected thereto*”.
- [4] IEC 61000-4-15. “*Flickermeter. Functional and design specification*”.
- [5] “*Power Quality Indices and Objectives*”. CIGRE C4 WG 07, March 2004.
- [6] “*Resultados del control de armónicas y flicker en los Servicios Eléctricos Públicos de Buenos Aires (2<sup>da</sup> parte)*”. P. Issouribehere, G. Barbera, J. Martínez, A. Galinski. IX ERLAC Foz do Iguazu, Brasil.