



COMITE NACIONAL ARGENTINO  
COMITE NACIONAL BRASILEÑO  
COMITE NACIONAL PARAGUAYO



PUERTO IGUAZU  
ARGENTINA  
18 al 22 de MAYO  
1997

## PERTURBACIONES EN SISTEMAS DE POTENCIA. EXPERIENCIAS EN LA REGULACION Y CONTROL EN LA ARGENTINA

C. Guidi, A. Galinski, J. García  
ENRE (1)  
Argentina

P. Issouribehere, D. Esteban, J. Barbero  
IITREE-LAT (2)  
Argentina

### RESUMEN

Bajo las condiciones vigentes en el sector eléctrico argentino, la calidad es un factor de mérito en la prestación del servicio. El incumplimiento de las expectativas de calidad genera bonificaciones en las tarifas de los usuarios.

Ciertos atributos de la calidad, como la tasa tolerable de interrupciones y las tolerancias aceptadas en el nivel medio de la tensión, ya han sido introducidos en años anteriores.

Actualmente se regulan las perturbaciones (inicialmente "flicker" y armónicas) tolerables en la red y admisibles desde cargas perturbadoras.

Las reglas y procedimientos adoptados tienen sustento tanto en la experiencia internacional como en los resultados de una importante campaña piloto de mediciones realizadas sobre un área de concesión de 5 millones de usuarios. La información obtenida permitió correlacionar límites de emisión con niveles de referencia y, también, evaluar el impacto que la adopción de los niveles de referencia podrían tener sobre la prestación actual del servicio eléctrico.

En este artículo se explican los mecanismos adoptados para el control en la red, medios de evaluación y formas de penalización.

### PALABRAS CLAVE

*Flicker* - Armónicas - Medición - Regulación - Control.

### 1.- Introducción [1] [2] [3]

Desde fines de 1992, la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica en la Argentina ha sufrido importantes cambios. Actualmente existe un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) formado por todos los generadores, transportistas, distribuidores y grandes usuarios que se relacionan entre sí a través de reglas de mercado y con una administración común. Las reglas incluyen pautas de calidad del servicio a cumplir.

Por otra parte, la distribución eléctrica -territorialmente monopólica- está a cargo de compañías concesionarias, de las cuales la mayoría tiene gestión privada. La regulación y

el control del servicio público los efectúa el ENRE, principalmente a través de la tarifa y la calidad del servicio.

Así, en la reestructuración del Sector Eléctrico Argentino se han introducido nuevos conceptos en la calidad del servicio, que si bien no eran técnicamente desconocidos con anterioridad, no eran de aplicación sistemática por las empresas eléctricas estatales.

Los niveles de calidad del servicio son algo más que metas técnicas a lograr por las empresas, ya que ahora se les asigna un valor económico. Cuando los niveles de calidad pautados no se cumplen, los usuarios reciben una bonificación en sus facturas.

Los niveles y atributos de la calidad de servicio se introducen a través de un plan de aplicación gradual, habiéndose comenzado por la tasa de interrupciones y el nivel medio de la tensión, y estando actualmente en la etapa de regulación y control de las perturbaciones en la red y en las cargas perturbadoras, situación de la que se da cuenta en este artículo.

### 2.- Esquema de introducción de la calidad del servicio en Distribución

El plan de introducción de la calidad forma parte de los propios contratos de concesión del servicio público, distinguiéndose:

- Calidad del Producto Técnico.
- Calidad del Servicio Técnico.
- Calidad del Servicio Comercial.

La Calidad del Producto Técnico suministrado por las empresas Distribuidoras a sus Usuarios se encuentra definida por el Nivel de la Tensión y las Perturbaciones que la contaminan.

La Calidad del Servicio Técnico se refiere al número y duración de las interrupciones ( $t > 3''$ ), y la Calidad del Servicio Comercial a los tiempos en responder a diversos pedidos de los usuarios como así también a aspectos relacionados con la facturación y la atención comercial.

(1) Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Avda. Madero N° 1020 - Piso 8. (1106) Buenos Aires - Argentina. T.E. +54-1-314-5638 / 39 / 40 - Fax: 314-5584. E-mail: enredist@internet.siscotel.com

(2) Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos - Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 116. (1900) La Plata. Argentina - T.E. +54-21-83-6640/83-7017. Fax: 25-0804. E-mail: iitree@volta.ing.unlp.edu.ar

En los Contratos de Concesión se han previsto las siguientes tres Etapas diferenciadas:

- **Etapa preliminar**, de un año de duración a partir de la fecha de toma de posesión (fines de 1992), en la cual se efectuó la revisión e implementación de las metodologías de control. No se previeron penalizaciones.
- **Etapa 1**, de tres años de duración, en la cual se establecen controles de la Calidad del Producto Técnico solo en lo que se refiere al Nivel de Tensión, previéndose la aplicación de sanciones en los casos en que se registren apartamientos a los límites establecidos.
- **Etapa 2**, a partir de fines de 1996, en donde se prevén controles tanto en lo que se refiere al Nivel de Tensión como a las perturbaciones, estableciéndose sanciones en los casos en que se registren apartamientos a los límites establecidos.

Las experiencias del ENRE en el control de las interrupciones y del nivel de tensión pueden verse en [3]. Al cabo de tres años de esfuerzos de las empresas Distribuidoras se observan mejoras en la calidad, las que se evalúan a través de la disminución de las penalizaciones aplicadas por transgresiones a las pautas de calidad. En lo que sigue se tratan aspectos de **Perturbaciones** solamente.

#### Perturbaciones

Las perturbaciones a controlar son:

- "Flicker".
- Armónicas.

Estas perturbaciones han sido explícitamente citadas en los contratos de concesión y el cumplimiento de reglas de compatibilidad es taxativo.

Otras perturbaciones conocidas, tales como:

- Caídas y huecos de tensión.
- Desequilibrios.
- Interarmónicas.
- Sobretensiones temporarias y transitorias.
- Transmisión de señales en la red.
- Presencia de corriente continua.
- Variaciones de frecuencia.

Estas están bajo análisis y serán seguramente reguladas en el futuro cuando una mayor información sobre tasas esperables, efectos y medios de mitigación disponibles permitan adoptar niveles de compatibilidad. La cuestión es de importancia sobre todo para los usuarios industriales, donde fenómenos tales como las caídas breves y los huecos suelen ser de mayor efecto práctico que el "flicker" y las armónicas, alcanzando algunas veces la misma jerarquía en detrimento de la calidad del suministro eléctrico que las propias interrupciones del servicio.

Para compatibilizar la situación:

- Las DISTRIBUIDORAS (o prestadores en general) deben contener las perturbaciones en la red dentro de valores tolerables, tanto en niveles como en persistencia.

- Los USUARIOS deben limitar la emisión a valores compatibles con los aceptados por la red.
- Los fabricantes de equipos deben producir bajo normas [4] [5] [6], de tal manera que los usuarios de energía eléctrica pequeños y medianos, que su vez son principalmente usuarios de aparatos, cumplan naturalmente con los requerimientos de emisión fijados.
- El Ente Regulador debe establecer las reglas y asegurar que su cumplimiento se haga efectivo.

Como una forma simplificada de descripción de la situación eléctrica, los prestadores deben velar por la calidad de la **tensión** suministrada y los usuarios deben consumir **corriente** cumpliendo con los límites de emisión.

### 3.- Campaña piloto de medición de armónicas y "flicker" en el Gran Buenos Aires

El área metropolitana abarca toda la superficie de la ciudad de Buenos Aires y zona de influencia, con un total de aproximadamente 5.000.000 de usuarios.

El ENRE necesitaba conocer la situación existente, previo a la adopción de reglas sobre perturbaciones y procedimientos para su control.

La campaña de medición se orientó a "flicker" y armónicas.

Se realizaron mediciones en:

- Estaciones transformadoras de AT/MT.
- Puntos de suministro de la red de AT/MT.
- Centros de transformación MT/BT.
- Puntos de suministro de la red de BT.

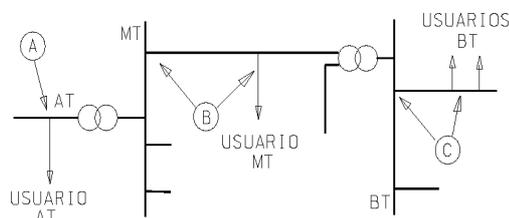


Fig. 1 - Esquema demostrativo de ubicaciones de medición en la campaña piloto en el Gran Buenos Aires.

Se ejecutó entre enero y septiembre de 1996, con más de 16.000 horas de registros de diversas perturbaciones.

#### "Flicker"

Se realizaron mediciones normalizadas [7] en los diversos niveles de la red, con un total de 200 mediciones y con los resultados condensados en la Fig. 2.

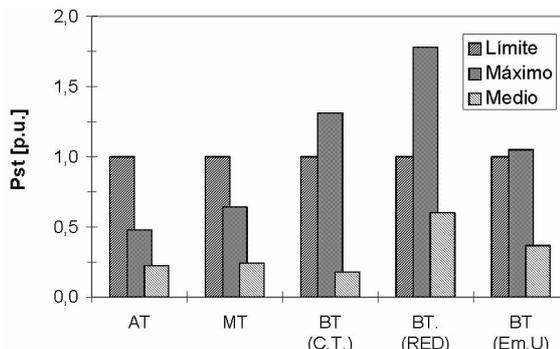


Fig. 2. Valores máximo y promedio de Pst medidos, comparados con el límite adoptado (ver parágrafo 5).

AT y MT: Mediciones realizadas en la red, a esos niveles de tensión. Obsérvese que los niveles a garantizar (que acompañan los resultados medio y máximo de la figura) son cumplidos en todos los casos.

BT: Tanto en barras de BT de los Centros de Transformación (CT) como en puntos de suministro de la red (RED), los niveles medios cumplen con los límites, detectándose transgresiones en casos localizados y con origen en la propia red de BT, como surge de la comparación.

BT (Em.U): Son resultados de medición de usuarios en BT. En este caso la medición se efectuó sobre la impedancia normalizada [5]. Se observan algunas transgresiones a los límites de emisión impuestos

**Armónicas**

**A Mediciones en la red v suministros de AT**

Se midieron 24 de las 111 estaciones transformadoras existentes en el área y en puntos se suministro a grandes usuarios. En cada lugar los registros se prolongaron por una semana, utilizándose estaciones de monitoreo para el registro automático de perturbaciones que cumplen con [8].

En la Fig. 3 se muestran como ejemplo los resultados de una medición de una semana en un sitio, evolución de la distorsión armónica total a lo largo del tiempo y resultado estadístico.

En la Fig. 4 se condensan los resultados de todas las mediciones realizadas en todos los sitios, junto con los valores de referencia a garantizar en la red (ver parágrafo 5).

Se observa que los valores de referencia no son superados.

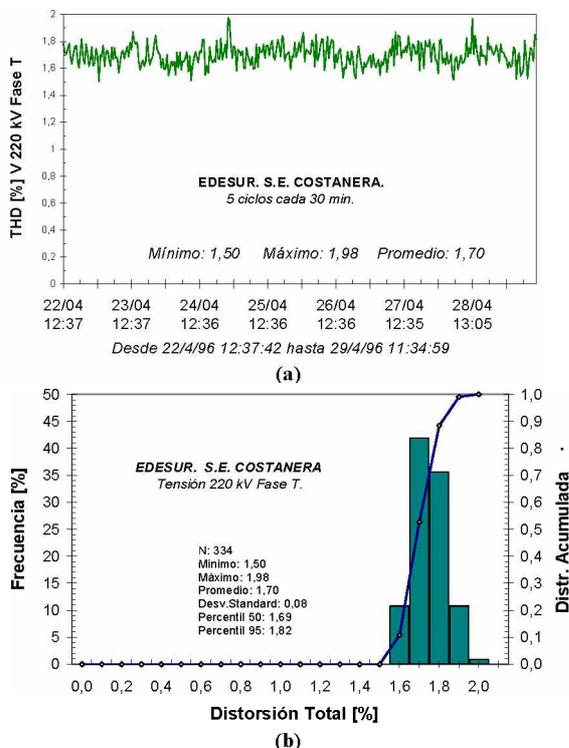


Fig. 3. Distorsión total de tensión registrada en barras de AT, durante 7 días, en ET Costanera. (a) Evolución temporal. (b) Distribución acumulada e histograma.

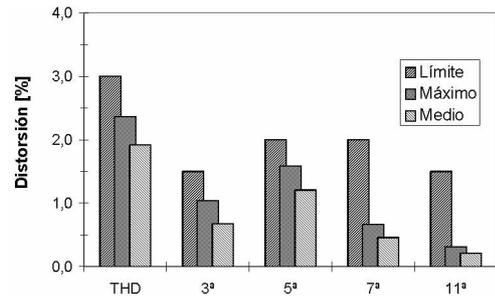


Fig. 4. Distorsión de tensión medida en barras de AT de Estaciones Transformadoras.

**B Mediciones en la red v suministros de MT**

Se efectuaron complementariamente a los del caso anterior.

La evolución de la distorsión armónica semanal para uno de los casos, y su resultado estadístico se dan en la Fig. 5.

La Fig. 6 corresponde al resumen estadístico de todos los casos e incluye los niveles de referencia adoptados.

Al igual que en AT, los niveles de referencia son cumplidos en todos los casos.

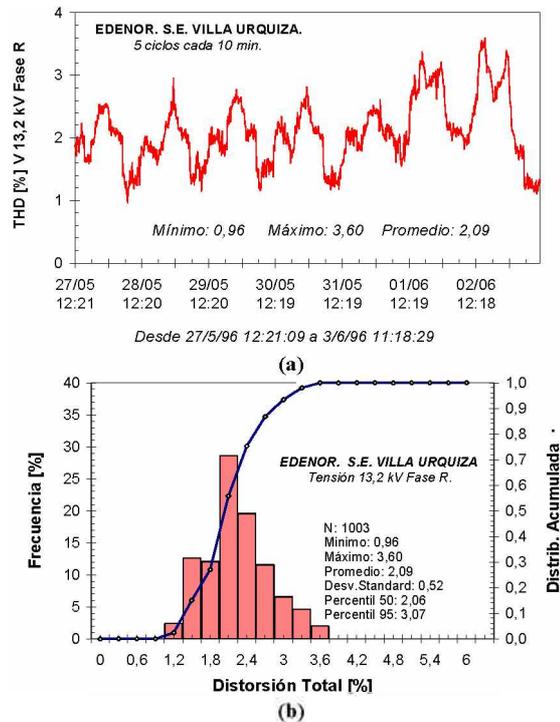


Fig. 5. Distorsión total de tensión registrada en barras de MT, durante 7 días, en ET Villa Urquiza. (a) Evolución temporal. (b) Distribución acumulada e histograma.

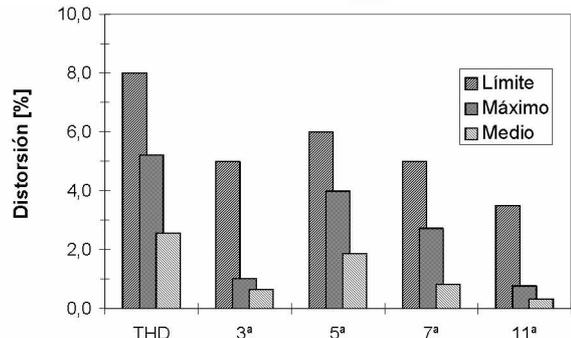
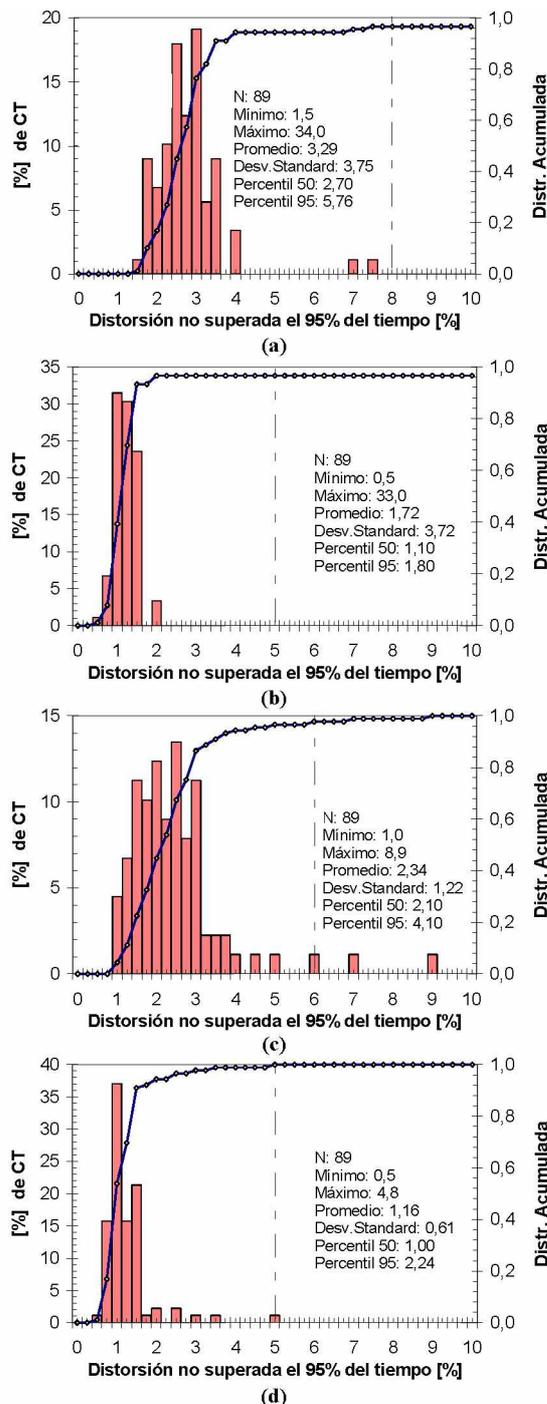


Fig. 6. Distorsión de tensión medida en barras de MT de Estaciones Transformadoras.

**C Mediciones en BT. Centros de transformación v red**

Se midió en 90 Centros de Transformación de MT/BT (el área metropolitana tiene del orden de 20.000). En cada sitio los registros fueron continuos y durante una semana.

Las Figs. 7 dan cuenta de los resúmenes estadísticos obtenidos del total de sitios, para la distorsión total de tensión y tres de las armónicas más significativas. Las estadísticas son de los valores no superados durante el 95 % del tiempo. En las mismas figuras se marcan los niveles de referencia a garantizar por los prestadores.



**Fig. 7.** Distorsión de tensión en barras BT de Centros de Transformación. (a) Distorsión total. (b) 3ª armónica. (c) 5ª armónica. (d) 7ª armónica.

La información fue complementada con mediciones individuales en puntos de suministro a usuarios de la red de BT. En todos los casos (cerca de 1500 puntos distribuidos al azar en toda el área de concesión) se midió simultáneamente la tensión sobre la red y la corriente absorbida por los usuarios. Los resultados se dan en [3].

Los principales logros del plan piloto fueron:

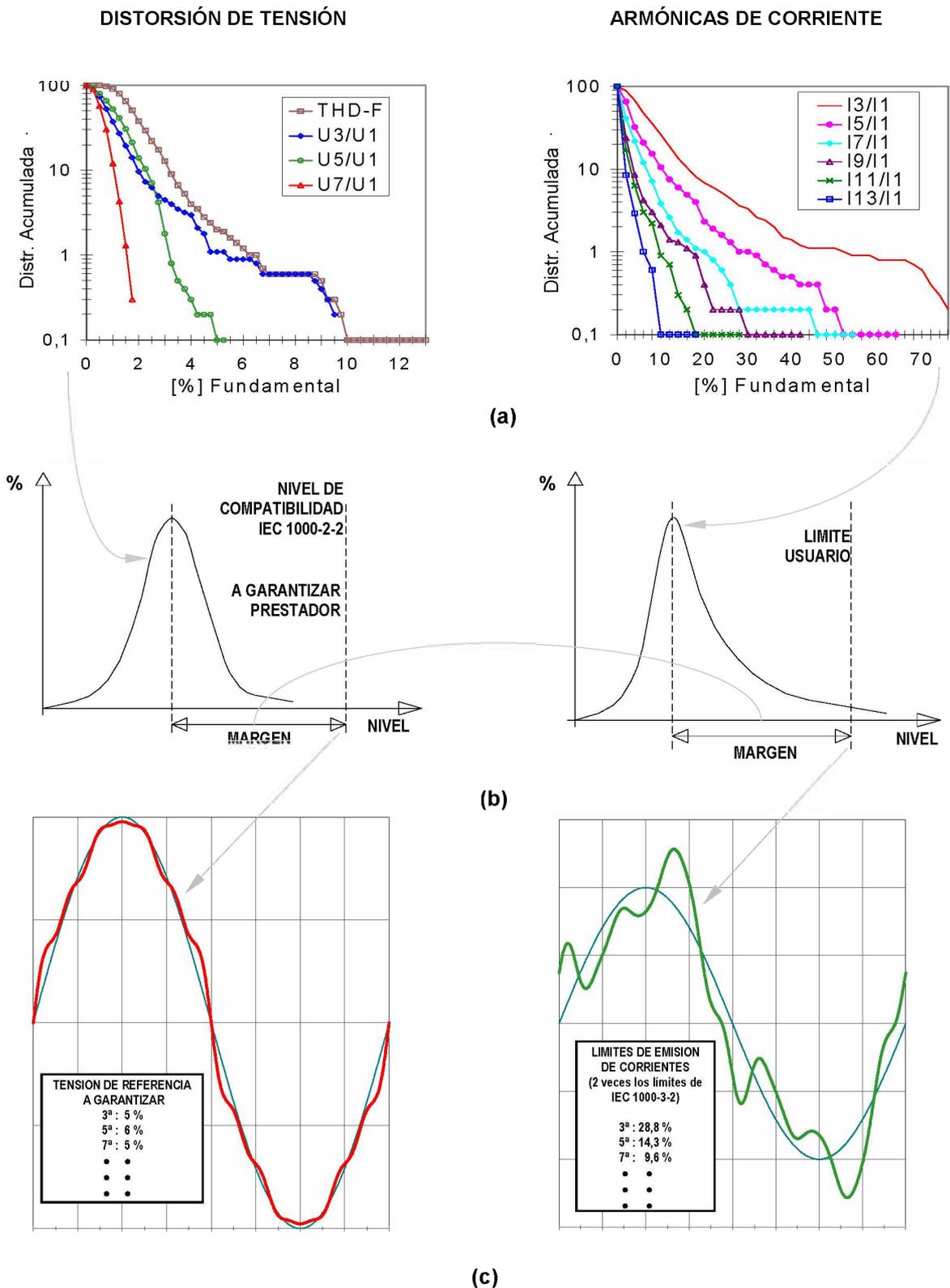
- **Determinar el grado de contaminación actual de las redes del área metropolitana. Se encontraron valores tolerables de armónicas y “flicker” en la amplia mayoría de sitios explorados.** La información permite adoptar como niveles de referencia a garantizar en las redes por parte de los prestadores, **directamente los niveles internacionales.** De esta forma los usuarios de energía eléctrica del área metropolitana podrán disponer de un servicio que les asegure la máxima calidad reconocida, a la vez que se ha comprobado que los prestadores ya están en condiciones de cumplir con esas metas técnicas.
  - **Caracterizar el nivel de emisión de perturbaciones por parte de los usuarios.** Los niveles de emisión encontrados experimentalmente, correlacionados con la contaminación medida en la red, y teniendo en cuenta las normas de calidad de los aparatos, permiten determinar los mejores límites de emisión por parte de los usuarios (ver parágrafo 4).
- La adopción de niveles -de emisión para los usuarios y de red para los prestadores- coordinados sobre la base de datos experimentales, asegurará que en el futuro los índices de cumplimiento sean equitativos para ambas partes.
- **Optimizar el empeño a prever para el control de las perturbaciones.** De la situación relevada surge la conveniencia de controlar en forma generalizada mediante la supervisión solo de parámetros representativos de los fenómenos, reservando el control de detalle normalizado para situaciones que lo justifiquen. Esta modalidad permitirá tener un control basado en la vigilancia de tendencias, con mínimo empeño de equipamiento y personal.
  - **Incorporar técnicas de medición innovadoras y experimentar equipamiento de prestaciones complejas para el registro de perturbaciones en las redes.** Definir métodos de procesamiento de la información y de evaluación de resultados.

**4.- Ejemplo de aplicación de los resultados experimentales.**

**Explicación del procedimiento de determinación de límites de la Fig. 8.**

- Se midieron U e I simultáneamente en BT. Se obtuvieron las estadísticas que se muestran en la parte superior de la Fig. 8.
- Se encontró un grado de cumplimiento (> 99 %) de los niveles de compatibilidad de la IEC 1000-2-2 [9]. **Se adoptaron estos niveles como de Referencia a Garantizar por las DISTRIBUIDORAS.**
- Se midieron los márgenes entre el nivel medio de la estadística de tensiones y los niveles de referencia, para la distorsión total y cada una de las armónicas.

**Determinación del límite de emisión de armónicas de los usuarios T1 de BT**



**Fig 8.** (a) Distribuciones acumuladas de las armónicas en tensiones y corrientes, sobre 1000 mediciones. (b) Niveles de referencia y límites de emisión. (c) Formas de onda de tensión y corriente con niveles de distorsión adoptados (sólo se muestran las armónicas impares 3 a 13).

- Se calcularon límites de emisión de los USUARIOS que respetaran los mismos márgenes anteriores, esta vez respecto a los niveles medios de las estadísticas de las corrientes de los respectivos órdenes armónicos.
- Se compararon estos valores con los de la norma de aparatos (I < 16 A) IEC 1000-3-2 [4]. Finalmente, y para uniformar, se adoptaron estos valores afectados por un factor 2.

**El criterio de correlación -límites de emisión vs niveles de referencia- asegura un tratamiento equitativo, tanto para las DISTRIBUIDORAS como para los USUARIOS.**

**5.- Regulación y control de perturbaciones**

En base a la información disponible internacionalmente y a la experiencia realizada se definieron las regulaciones y procedimientos de control de “flicker” y armónicas para el área de Buenos Aires.

Los prestadores del servicio deben cumplir un **Reglamento**, y dispondrán de una **Guía** para el control de los usuarios perturbadores.

**Reglamento**

Se definen niveles de referencia a garantizar en los puntos de suministro. El grado de cumplimiento es del 95 %, en intervalos de medición semanales.

Para “flicker” se adopta  $PST \leq 1,0$  para cualquier nivel de tensión. Este valor coincide con el nivel de compatibilidad adoptado por IEC en BT [9].

Para armónicas se adoptan los valores de la Tabla I.

**Tabla I** Niveles de Referencia para las armónicas de tensión en BT, MT y AT, que no deben ser superados durante más del 5 % del período de medición.

Orden de la armónica n	Nivel de Referencia de la armónica (en % respecto a la fundamental)	
	BT y MT (U<66 kV)	AT (66 kV≤U≤220 kV)
Impares no múltiplos de 3		
5	6,0	2,0
7	5,0	2,0
11	3,5	1,5
13	3,0	1,5
17	2,0	1,0
19	1,5	1,0
23	1,5	0,7
25	1,5	0,7
>25	0,2 + 5/n	0,1 + 2,5/n
Impares múltiplos de 3		
3	5,0	1,5
9	1,5	1,0
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
>21	0,2	0,2
Pares		
2	2,0	1,5
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,5	0,2
10	0,5	0,2
12	0,2	0,2
>12	0,2	0,2
<b>TDTT [%]</b>	<b>8</b>	<b>3</b>

Para Redes de EAT (U>220 kV) se considerarán como Niveles de Referencia para las armónicas de tensión, valores mitad de los indicados.

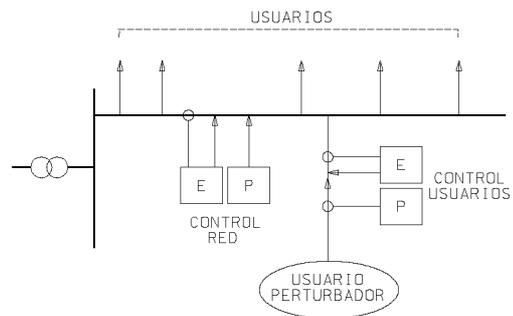
Para efectos transitorios caracterizados por el valor eficaz de cada armónica en intervalos efectivos de medición de 3 segundos, serán considerados como niveles de referencia orientativos los mismos valores multiplicados por 1,5.

Para el **control** de las perturbaciones se adopta un **método de supervisión** complementado con **mediciones normalizadas**.

Los prestadores deben efectuar varios cientos de mediciones semanales, en cada mes, de distorsión total y de “pseudo-flicker”. Estos dos parámetros (el “pseudo-flicker” es una medición aproximada del “flicker” normalizado) pueden ser medidos por equipos simples.

La información recogida permite vigilar tendencias, sobre bases estadísticas, y también localizar zonas con contaminaciones importantes.

Las mediciones normalizadas [7] [8] se prolongan por una semana en cada sitio. Los prestadores deben disponer de una cierta “capacidad de medición instalada”, al servicio de la actividad.



**Fig. 9** - Control de la red y de los usuarios perturbadores.

Si la calidad no cumple las expectativas pautadas, todos los usuarios afectados serán bonificados. El procedimiento es:

- Medir la perturbación (“flicker” o armónicas) en intervalos compactados de 10’ y sucesivos durante una semana.
- Medir simultáneamente el flujo de energía en el punto.
- Verificar el grado de cumplimiento (95 %) de los valores garantizados.
- Si no se cumple, se penalizará en base a la energía de cada intervalo transgredido. Según el grado de transgresión, la penalización podrá alcanzar a 2 \$/kWh.

Se prevé la introducción del régimen de control de perturbaciones en dos etapas. La primera, hasta setiembre’98 no dará lugar a penalizaciones directas, debiendo los prestadores normalizar la situación en plazos estrictos. En la segunda las penalizaciones serán efectivas.

**Guía**

Se adoptan **límites de emisión** a cumplir por los usuarios presuntamente perturbadores. Al igual que para la red el grado de cumplimiento de dichos límites es del 95 %.

Los usuarios se categorizan, según su consumo, en T1 (P<10kW), T2 (P<50kW) y T3 (grandes usuarios).

Para "flicker" se adopta:

T1 :  $PST \leq 1,0$  , sobre la impedancia de referencia y en coincidencia con los límites de aparatos < 16 A [5].

T2 :  $PST \leq 1,0 \dots 2,0$  , sobre la impedancia de referencia y en coincidencia con los límites de aparatos < 75 A [6].

T3 : dependiendo de la relación entre la potencia de demanda y para BT la disponible en la red, y para MT y AT la potencia de cortocircuito. Determinación sobre la impedancia de la red.

Para armónicas se adoptan los límites de la Tabla II.

**Tabla II** - Límites de Emisión individuales de intensidades armónicas para usuarios con tarifas T1, T2 y T3.

Orden de la armónica (n)	Usuarios T1	Usuarios T2 en BT y T3 en BT y MT	Usuarios T3 en AT
	Corriente armónica máxima en A	Corriente armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada	
Impares no múltiplos de 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1
11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,20	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
>25	4,5/n	0,2 + 0,8 · 25/n	0,4
Impares múltiplos de 3			
3	4,6	16,6	7,5
9	0,8	2,2	2,2
15	0,3	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
>21	4,5/n	0,3	0,4
Pares			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
>12	3,68/n	0,3	0,5
<b>TDTI<sub>eq</sub> [%]</b>	----	<b>20,0</b>	<b>12,0</b>

El control de la emisión estará a cargo de los prestadores, quienes podrán medir, evaluar y penalizar a los usuarios perturbadores bajo procedimientos similares al descrito previamente para el control de los niveles en la red.

## 6.- Referencias

- [1] C. Guidi, P. Issouribehere. "La situación actual de Compatibilidad Electromagnética en Sistemas de Potencia - Calidad del Servicio - en la Argentina". CIGRE - 6° ERLAC. 28/5 al 1/6 de 1995. Foz do Iguaçu. Brasil.
- [2] C. Guidi, P. Issouribehere, J. Riubrugent. "Power System Electromagnetic Compatibility in Argentina. An issue of the Power Quality Assessment". CIGRE - Study Committee 36 Colloquium and Meeting. May 21-27, 1995. Foz do Iguaçu. Brasil.
- [3] C. Guidi, P. Issouribehere. "Voltage Quality Experiences from the Control of Distribution Services". CIRED Argentina'96. December 2-5, 1996. Buenos Aires Argentina.
- [4] IEC. "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase)". IEC 1000-3-2 (1995).
- [5] IEC. "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A". IEC 1000-3-3 (1994).
- [6] IEC. "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A". IEC 1000-3-5 (1994).
- [7] IEC. "Flickermeter. Functional and design specifications". IEC 868 (1986). Amendment N° 1 (1990).
- [8] IEC. "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected there to". IEC 1000-4-7 (1991).
- [9] IEC "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 2: Environment. Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems". IEC 1000-2-2 (1990).