

# CONGRESO INTERNACIONAL DE DISTRIBUCION ELECTRICA CIDEL ARGENTINA 2002

## MÉTODOS PARA EL CONTROL DE USUARIOS PERTURBADORES

A. Galinski, D. Bibe - ENRE

P. Issouribehere, D. Esteban, G. Barbera - IITREE

ARGENTINA

E- mail: [iitree@ing.unlp.edu.ar](mailto:iitree@ing.unlp.edu.ar)

### Palabras Clave

Perturbaciones. Armónicas. *Flicker*. Compatibilidad. Detección de Emisión.

### 1. INTRODUCCIÓN

La red tiene cierta capacidad de absorber perturbaciones emitidas por los usuarios sin que se superen los límites de referencia que aseguran la compatibilidad electromagnética. Esta capacidad debe ser repartida entre los distintos usuarios de la red.

Como las perturbaciones - armónicas y *flicker* - son producidas por cargas no lineales y por equipos que demandan potencia eléctrica de una forma no constante, la compañía Distribuidora de electricidad debe controlar la emisión de las perturbaciones a la red por parte de los usuarios. Para ello están establecidos límites de emisión de perturbaciones para cada usuario conectado al sistema de distribución eléctrica.

En los casos en los cuales se verifique, mediante la aplicación de los criterios establecidos en [1] que el agente perturbador sea un usuario, la distribuidora podrá aplicar las sanciones allí previstas, pudiendo llegar a la desconexión del usuario, previa autorización del ENRE.

En este caso el ENRE actúa como agente de fiscalización de las instalaciones de los equipos de medición, a través del IITREE, asegurando la confiabilidad e inviolabilidad de los resultados.

### 2. MECANISMO DE VINCULACIÓN ENTRE LAS PERTURBACIONES INYECTADAS POR LAS CARGAS Y LAS TENSIONES DESARROLLADAS EN LAS REDES. [2]

Mecanismo. Las cargas perturbadoras, tanto aquellas que toman una corriente rápidamente fluctuante y provocan *flicker* en la red, como las distorsionantes que generan corrientes armónicas de la frecuencia de 50 Hz, ocasionan perturbaciones en la red de suministro eléctrico. Como se muestra en la Fig. 1, la componente perturbadora de la corriente absorbida por la carga desarrolla una componente de perturbación en la tensión de la red debido a la impedancia en ese punto de suministro, la que por otra parte se supone senoidal puro de frecuencia industrial y amplitud constante.

La resultante perturbadora podrá alcanzar a las otras cargas en el punto de acoplamiento común (p.a.c.), en

general usuarios, que recibirán un Producto Técnico de calidad deteriorada.

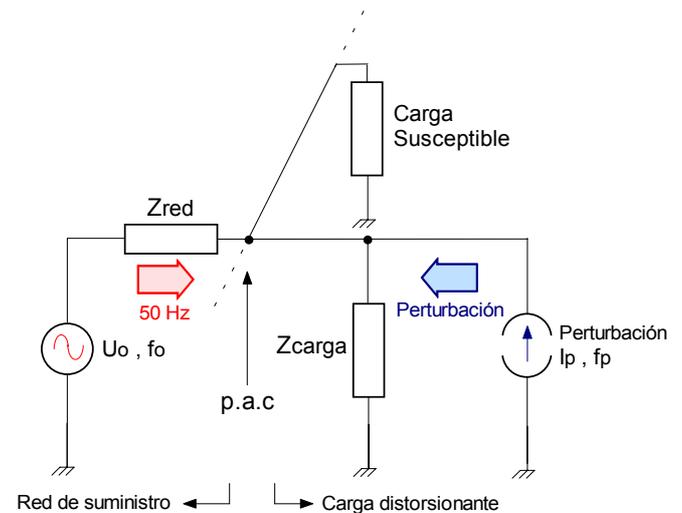


Fig. 1. Esquema de la compatibilidad electromagnética.

Contener los fenómenos perturbadores dentro de límites tolerables requiere entonces: i) Contener la emisión de las cargas dentro de ciertos límites. ii) Que la red disponga no solamente de la capacidad convencional acorde con la demanda de energía, sino también de una Capacidad de Absorción de las perturbaciones. Ésta es diferente a la de frecuencia industrial y supone, en general, un sobredimensionamiento de la red.

Responsabilidades. El cumplimiento de niveles de compatibilidad para las diferentes perturbaciones es de naturaleza compleja ya que involucra a los diferentes agentes del sector eléctrico. La Fig. 2 esquematiza la situación.

A las compañías prestatarias del servicio público les corresponde mantener las perturbaciones en su red dentro de límites tolerables.

Para lograr cumplir con estos límites, las compañías deben controlar la emisión desde cargas perturbadoras, en general correspondientes a algunos de sus propios usuarios.

Los fabricantes e instaladores eléctricos deberán asegurar el cumplimiento por parte de sus equipos de los límites de emisión adoptados y, también, del grado de inmunidad ante las perturbaciones.

Los Concesionarios, conjuntamente con el ENRE, deben impulsar el cumplimiento de este flujo de

responsabilidades a fin de lograr la requerida compatibilidad electromagnética.

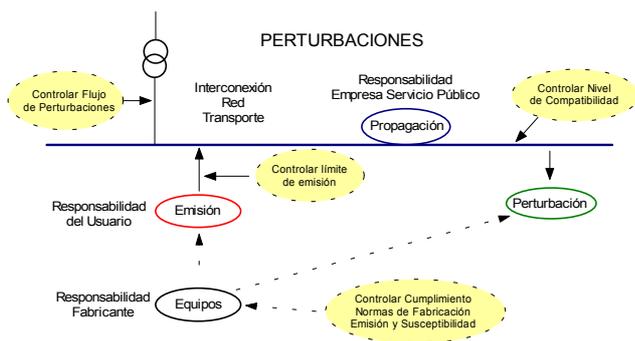


Fig. 2. Flujo de responsabilidades.

### 3. REGULACIÓN DE PERTURBACIONES EN LA ARGENTINA. [1] [3]

Reglamento de control de perturbaciones. [3] Es el conjunto de reglas que establecen los niveles de referencia de perturbaciones tolerables en las redes, los métodos de seguimiento y control y las penalizaciones previstas por incumplimiento. Deben ser cumplidas por las Empresas Concesionarias.

Los niveles de referencia en la tensión deben ser garantizados por las Distribuidoras en cada punto de suministro. La probabilidad de transgresión no deberá superar al 5 %, en intervalos de una semana.

Se han adoptado niveles de referencia para *flicker* y armónicas.

♦ Para *flicker* el valor adoptado es  $Pst = 1,0$  para cualquier punto de suministro, independiente del nivel de tensión (AT, MT o BT).

♦ Para armónicas los valores adoptados dependen del nivel de tensión. Como ejemplo para redes de BT los valores adoptados se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de Referencia de tensión para armónicas impares no múltiplos de 3 en BT ( $U \leq 1$  kV).

Impares no múltiplos de 3	
Orden de la armónica (n)	Nivel de referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)
5	6,0
7	5,0
11	3,5
13	3,0
17	2,0
19	1,5
23	1,5
25	1,5
>25	$0,2+0,5 \times 25/n$
Tasa de Distorsión Total : TDT 8 %	

El control del cumplimiento de los niveles de referencia garantizados en la tensión se efectúa por mediciones en puntos de suministro de la red. Las Concesionarias ponen a disposición del ENRE una cierta capacidad de medición. Mensualmente se seleccionan los puntos a inspeccionar a criterio del ENRE.

El Organismo de control elige las ubicaciones de las mediciones a partir de una campaña previa, simultánea con las mediciones de tensión cuyos puntos se distribuyen al azar, y también de reclamos de usuarios.

A partir de Setiembre de 1998 se aplican penalizaciones que retornan como bonificaciones a los usuarios afectados. El cálculo de las penalizaciones es análogo al de las transgresiones al rango de tensión admisible. Consiste en:

- Medir la perturbación objeto de inspección en intervalos sucesivos de 10 minutos.
- Medir simultáneamente la energía entregada.
- Comparar el valor de perturbación medida con la de referencia.
- Determinar si al cabo de la semana de medición el estándar de calidad se cumple en al menos el 95% de los intervalos.
- Si no es así, aplicar una penalización, que es gradual según el incumplimiento detectado en cada intervalo y que alcanza hasta 2 \$/kWh.
- Se calcula la penalización total por integración sobre toda la semana de los valores resultantes en cada intervalo de 10 minutos.

Las penalizaciones se aplican desde entonces continuamente hasta que la Concesionaria demuestre que ha normalizado la situación a través de una nueva medición.

Guía para la conexión de usuarios. [1] Las Concesionarias disponen de esta herramienta para limitar las perturbaciones que los usuarios pudieran inyectar en las redes.

La Concesionaria puede inspeccionar a sus usuarios para verificar el cumplimiento de los límites de emisión. [4] Las mediciones son de al menos de 1 semana de duración y el nivel de emisión representativo es aquél con probabilidad no mayor al 5 % de ser superado.

Se prevé la aplicación de multas a los usuarios que transgredan los límites impuestos.

En lo que sigue se explican los métodos y procedimientos de aplicación en La Argentina para el control de la emisión.

En [1] se detalla el mecanismo del cálculo de sanciones por emisión de perturbaciones hacia la red.

En esta publicación no se entrará en detalle en cuanto a las ecuaciones que entran en juego en el cálculo de las sanciones. Sólo se comenta que la penalización que alcanzará al usuario será proporcional a los niveles de perturbaciones emitidas y a la energía consumida.

### 4. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE EMISIÓN DE ARMÓNICAS.

La medición del nivel de emisión de corrientes armónicas se realiza mediante un equipo registrador que mide la tasa individual de cada armónica y la total TDT (de tensión y corriente) en intervalos de 10 minutos.

Además es necesario medir el correspondiente ángulo de fase de cada corriente armónica, a fin de determinar el flujo de potencia activa de cada armónica controlada, de forma tal de comprobar la responsabilidad del usuario. Este concepto será explicado más adelante.

La medición es trifásica y también debe medirse la energía consumida.

**Sanciones por emisión de armónicas.** Se establecen como Límites de Emisión Individuales las intensidades armónicas especificadas en la Tabla 2.

En esta tabla se fijan las intensidades armónicas como valores en unidad de corriente [A] para usuarios con tarifa T1 (pequeñas demandas). Para usuarios en tarifas T2 (medianas demandas) y T3 (grandes usuarios), se fijan como valores porcentuales respecto de la intensidad de carga demandada por el usuario, obtenida a partir de la potencia contratada, y considerando un  $\cos\phi$  de 0,85.

Tabla 2. Límites de Emisión Individuales (corrientes) armónicas - impares no múltiplos de 3 - para usuarios con tarifa T1, T2 y T3.

Orden de la armónica	Usuarios T1	Usuarios T2 y T3 en BT y MT	Usuarios T3 en AT
(n)	Intensidad armónica máxima, en (A)	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada.	
<b>IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3</b>			
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
<b>TDTI (en %)</b>	-	<b>20,0</b>	<b>12,0</b>

## 5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA EMISIÓN DE FLICKER.

La medida del nivel de Emisión Individual en lo relativo a fluctuaciones de tensión (*flicker*) se realiza mediante un equipo registrador que mida el índice de severidad de *flicker* (Pst) en intervalos de 10 minutos e incluye un simulador de impedancia de línea normalizada con la interconexión de los elementos realizada como se indica en el esquema de la Fig. 3.

La medición es normalmente monofásica, pudiendo seleccionarse la peor fase en cuanto a la perturbación emitida. También es necesario medir la energía consumida.

El instrumento de medición es un medidor-registrador de *flicker* de dos canales cuyas características están de acuerdo a las requeridas por la norma [5].

Con la disposición indicada, la información registrada en el canal 1 (CH1) corresponde al *flicker* medido (Pst\*) resultante sobre una impedancia calibrada  $Z_N$ , de magnitud conocida e implementada por medio del

simulador, mientras que en el canal 2 (CH2) se obtiene el *flicker* en la red real (Pst-red).

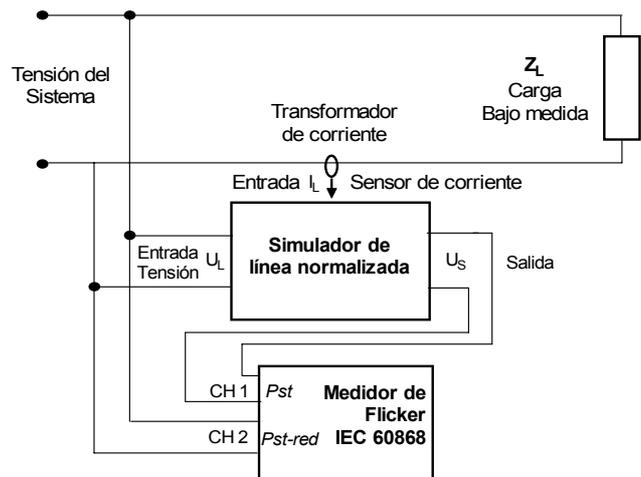


Fig. 3. Disposición circuital para la medición.

La impedancia  $Z_N$  se caracteriza durante la calibración del simulador juntamente con la constante de transducción de la pinza amperométrica asociada a la medición de la corriente que se ha denominado  $K_N$ .

También es necesario considerar que el *flicker* generado por el simulador - también por condiciones de calibración - se encuentra referido a una tensión nominal  $U_N$  de 220 V.

Dado que en la generalidad de los casos la constante de transducción de corriente  $K_N$  y la tensión nominal  $U_N$  con que se encuentra calibrada la impedancia  $Z_N$  del simulador no coinciden con las correspondientes a la medición realizada en la práctica, es necesario determinar la magnitud de la impedancia de medición  $Z^*$ .

Su magnitud se determina escalando el valor de  $Z_N$  en función del factor de transducción de corriente real y de la tensión de fase del sistema analizado, mediante la expresión:

$$Z^* = \frac{Z_N \cdot (K_N \cdot U_{FS})}{(K_M \cdot K_T \cdot U_N)} \quad (1)$$

Donde:

$Z_N$  [ $\Omega$ ] = Impedancia nominal del simulador.

$K_N$  [A/V] = Constante del transductor con que se realizó la calibración de simulador.

$K_M$  [A/V] = Constante del transductor con que se realizó la medición.

$K_T$  [A/A] = Relación del transformador de corriente intercalado entre el sistema y el transductor de medición usado con el simulador.

$U_{FS}$  [V] = Tensión de fase nominal del sistema.

$U_N$  [V] = Tensión nominal de calibración del simulador.

Dado que la impedancia del simulador ( $Z_N$ ) posee una relación entre la componente real ( $R_N$ ) y la reactiva ( $X_N$ ) igual a 1,6 como la fijada para la impedancia de referencia ( $Z_{ref}$ ) a la cual se desea referir la medición - concepto comentado más adelante - por la norma [6] la impedancia resultante  $Z^*$  conserva esta condición.

Determinada así la impedancia de medición  $Z^*$  y conocida la impedancia de referencia ( $Z_{ref}$ ) se debe efectuar la corrección de la magnitud del *flicker* medido ( $Pst^*$ ) para obtener el valor del *flicker* ( $Pst$ ) que resultaría si la carga perturbadora se encontrara sobre una red con dicha impedancia. La norma [7] da la expresión:

$$Pst = Pst^* \cdot \frac{Z_{ref}}{Z^*}$$

Donde:

$Pst$  = *Flicker resultante sobre la impedancia de referencia.*

$Pst^*$  = *Flicker medido con el simulador.*

$Z_{ref}$  = *Impedancia de referencia del sistema.*

$Z^*$  = *Impedancia de medición.*

*Condiciones de validez.*

Según puede verse en la Fig. 4, por el punto de suministro las fluctuaciones de la corriente tienen dos componentes, la propia de la carga ( $\Delta I_L$ ) y la debida a la fluctuación propia de la red ( $\Delta I_o$ ). Esta última es originada por la fluctuación de tensión ( $\Delta U_o$ ), preexistente en la red debida a otras cargas perturbadoras.

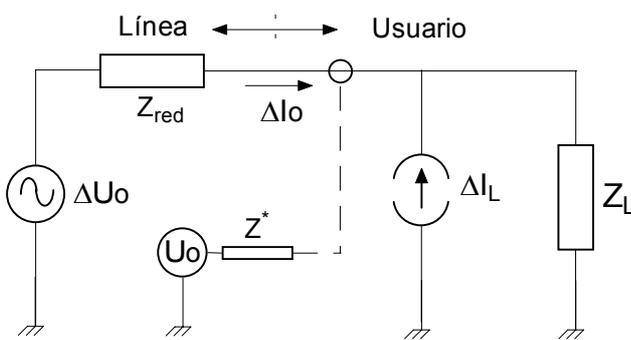


Fig. 4. Modelo red-usuario.

Cabe la discusión sobre cuál es la medición correcta en el punto, según:

a) El efecto del usuario sobre la red se obtendría por  $\Delta I_L$  solamente.

b) La corriente total daría una especie de “flujo de *flicker*” en el nodo. El resultado, en relación al anterior, se vería aumentado o disminuido según la fase ( $\phi$ ) de la contribución del *flicker* preexistente.

Teniendo en cuenta la proporcionalidad entre  $\Delta U$  y el *flicker* ( $Pst$ ) pueden resumirse las siguientes condiciones para la aplicación del método [8]:

- Debe medirse simultáneamente el *flicker* sobre la red ( $Pst-red$ ), y sobre la impedancia normalizada ( $Pst^*$ ).
- El *flicker* ( $Pst-red$ ) será el resultante del intercambio de flujo o flujo neto, pero con preponderancia desde la carga si se cumple la desigualdad:

$$Pst > 1,26 \frac{S_L}{S_{CC}^*} Pst - red$$

Donde:

$S_L$  = *Potencia de la carga*

$S_{CC}^*$  = *potencia de cortocircuito de la  $Z^*$*

- El *flicker* ( $Pst-red$ ) será el propio emitido por el usuario - con un error no mayor al 5% -, si se cumple la desigualdad:

$$Pst > 1,85 \frac{S_L}{S_{CC}^*} Pst - red \quad (2)$$

De no cumplirse estas condiciones, el *flicker* medido tendrá un contenido preponderante desde la red hacia el usuario o una incerteza importante en su determinación y, por lo tanto, no tendrá sentido como medida del *flicker* emitido.

También debe considerarse que el valor mínimo de  $Pst$  que tiene significado es 0,37.

Sanciones por emisión de *flicker*.

*Límite de Emisión Individual para usuarios con tarifa T-1 ( $P < 10 \text{ kW}$ ) conectados en BT ( $U \leq 1 \text{ kV}$ ).*

Se establece como Límite de Emisión Individual un  $Pst = 1$ , medido en el punto de suministro sobre la impedancia de referencia fijada.

En el caso de suministros monofásicos, la impedancia sobre la que se medirá el  $Pst$  es la suma de la de fase y la de neutro. En el caso de suministros trifásicos, la impedancia sobre la que se mide el  $Pst$  es la de fase.

*Límites de Emisión Individuales para usuarios con tarifa T-2 ( $10 \text{ kW} \leq P < 50 \text{ kW}$ ) conectados en BT ( $U \leq 1 \text{ kV}$ ).*

Se establecen como Límites de Emisión Individuales los valores de  $Pst$  indicados en la Tabla 3, de acuerdo a la potencia contratada por el usuario, y medidos en el punto de suministro sobre la impedancia de referencia fijada.

Tabla 3. Límites de Emisión Individuales para usuarios con tarifa T-2.

Potencia Contratada (kW)	Límites de Emisión Individuales (Pst)
$10 \leq P < 20$	1,00
$20 \leq P < 30$	1,26
$30 \leq P < 40$	1,58
$40 \leq P < 50$	1,86

*Límites de Emisión Individuales para usuarios con tarifa T-3 ( $P \geq 50 \text{ kW}$ ) conectados en BT ( $U \leq 1 \text{ kV}$ ) o MT ( $1 \text{ kV} < U < 66 \text{ kV}$ ) y/o en AT ( $66 \text{ kV} \leq U \leq 220 \text{ kV}$ ).*

Se establecen como Límites de Emisión Individuales los valores de  $Pst$  indicados en la Tabla 4, de acuerdo a la potencia contratada por el usuario, y medido sobre la impedancia de red en el punto de suministro, o sobre una impedancia tal que produzca una caída de tensión del 3% para la máxima demanda del usuario, la que resulte menor, llamada  $Z_{ref}$  en el apartado anterior.

Para usuarios conectados en redes de BT ( $U \leq 1 \text{ kV}$ ), los Límites de Emisión Individuales se obtienen en la Tabla 4 en función de la relación entre la capacidad de suministro contratada por el usuario,  $S_L$ , y la potencia del Centro de Transformación MT/BT donde se encuentra conectado el usuario  $S_{MT/BT}$ .

Para usuarios conectados en redes de MT ( $1\text{kV} < U < 66\text{kV}$ ) y AT ( $66\text{kV} \leq U \leq 220\text{kV}$ ), los Límites de Emisión Individuales se obtienen en la Tabla 4 en función de la relación entre la capacidad de suministro contratada por el usuario,  $S_L$ , y la potencia de cortocircuito  $S_{CC}$  en el correspondiente punto de suministro del usuario.

En el caso que la  $S_{CC}$  y la impedancia de red sean determinadas mediante cálculo por la compañía prestataria, el mismo debe ser justificado en base a las impedancias de los elementos serie: transformadores y líneas que conectan el punto de suministro con la red de 500 kV.

En ambos casos, para la determinación de  $S_L$  se deberá considerar un  $\cos\phi$  de 0,85.

Tabla 4. Límites de Emisión Individuales para usuarios con tarifa T-3.

Usuarios en BT ( $U \leq 1 \text{ kV}$ ) $\frac{S_L}{S_{MT/BT}} = K_1$	Usuarios en MT y AT ( $1 \text{ kV} < U \leq 220 \text{ kV}$ ) $\frac{S_L}{S_{CC}} = K_2$	Límites de Emisión Individuales (Pst)
$K_1 \leq 0,1$	$K_2 \leq 0,005$	0,37
$0,1 < K_1 \leq 0,2$	$0,005 < K_2 \leq 0,01$	0,46
$0,2 < K_1 \leq 0,4$	$0,01 < K_2 \leq 0,02$	0,58
$0,4 < K_1 \leq 0,6$	$0,02 < K_2 \leq 0,03$	0,67
$0,6 < K_1 \leq 0,8$	$0,03 < K_2 \leq 0,04$	0,74
$0,8 < K_1$	$0,04 < K_2$	0,79

## 6. RESULTADOS DE LOS CONTROLES DEL ENRE.

El ENRE controla las acciones que las Distribuidoras efectúan para normalizar los casos de emisión que transgreden los límites aceptados.

A continuación se describen, a modo de ejemplo, algunos casos.

### 6.1 Emisión de armónicas.

A continuación se mostrará un caso de medición de armónicas en un punto de suministro a un cliente en BT cuyo principal consumo estaba dado por una central telefónica.

Debido a los rectificadores que poseen las centrales telefónicas, las armónicas presentes en la carga son las de orden  $n.k \pm 1$ , donde  $n$  es el número de pulsos del rectificador (6 ó 12) y  $k$  un número entero mayor o igual que uno.

En este caso concreto la armónica que se puso de manifiesto en mayor grado fue justamente la  $11^\circ$ .

El perfil de la medición semanal - para esta armónica en particular - es el que se muestra en la Fig. 5. La medición original se efectuó sobre las tres fases de tensión y corriente. En esta publicación, y con el propósito de facilitar la interpretación de resultados, se trabajará con sólo una de ellas.

Según la Tabla 1 [3] el valor máximo permitido para la armónica  $11^\circ$  en la tensión en BT es 3,5%. El valor medido en las barras del Centro de Transformación (CT)

se encontró por encima de este nivel de referencia durante toda la semana de medición. Por lo tanto la Distribuidora se vería penalizada por no brindar un Producto Técnico adecuado para el resto de los usuarios conectados al p.a.c.

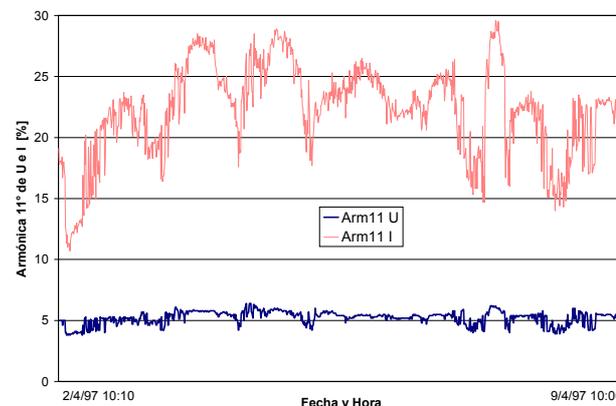


Fig. 5. Armónica  $11^\circ$  de tensión y corriente referidas a la fundamental.

Sin embargo, al estudiar la medición más detalladamente se comprueba que la corriente consumida por este usuario posee una fuerte componente también de armónica  $11^\circ$ . Entonces, al ver el modelo propuesto en la Fig. 1, se concluye que en el p.a.c la tensión se vería distorsionada por la emisión de este usuario perturbador.

De acuerdo a la Tabla 2 [1] para usuarios T2 y T3 en BT y MT el valor máximo permitido para la armónica  $11^\circ$  en corriente es 4,3% de la  $I_L$ . En este caso la  $I_L$  es del orden de 500 A con lo cual el valor permitido para la armónica  $11^\circ$  sería aproximadamente 22 A. El valor medido de esta armónica, expresado en [A], se encuentra por encima de este Nivel de Referencia durante toda la semana de medición. Por esta razón, ahora sería el Usuario quien podría ser penalizado por emisión de perturbaciones hacia la red.

Para discernir quién es el culpable de que el Producto Técnico en el p.a.c no sea el correcto, la normativa del ENRE [1] dice que es necesario analizar para cada intervalo de  $10'$  la dirección del flujo armónico. Para ello los equipos normalizados de medición de armónicas entregan, además del valor medio de las armónicas de tensión y corriente, un valor instantáneo de estas magnitudes junto con las fases correspondientes.

Según la teoría, las armónicas con potencia activa positiva fluyen - de la misma forma que la componente de 50 Hz - desde la fuente hacia la carga, siendo en este caso la Distribuidora quien produce esta componente no deseada. En cambio si la potencia activa es de signo negativo, las armónicas fluyen desde la carga hacia la fuente (red) por lo que ahora sería el usuario quien emite la o las armónicas.

Sin embargo, este razonamiento teórico es de difícil aplicación en la práctica. La razón de esto es que la red, y especialmente a la frecuencia correspondiente a la armónica en estudio (550 Hz), posee un comportamiento netamente reactivo por lo que la tensión y la corriente se encuentran prácticamente en cuadratura - tal como se esquematiza en la Fig. 6. Por esta razón, pequeños cambios en el ángulo dado entre tensión y corriente (por

ejemplo del orden de 1°) producirán cambios en el sentido del flujo armónico y por consiguiente en la responsabilidad en la distorsión de la forma de onda de la tensión.

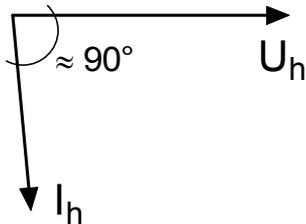


Fig. 6. Diagrama fasorial de tensión y corriente armónica.

Si se tiene en cuenta que las Normas internacionales que describen las especificaciones de los aparatos utilizados para medir este tipo de fenómenos [9] dicen que los mismos pueden tener un error de fase de hasta 5°, el anterior razonamiento, totalmente válido desde un punto de vista teórico, en la práctica no es de aplicación directa.

Si se aplicase este concepto al caso que se está presentando, daría que durante casi el 85 % del tiempo el flujo armónico tiene dirección usuario-red e inverso el tiempo restante, lo que es confuso.

De todos modos existen otras herramientas que ayudan a discernir quién genera una perturbación armónica en determinado p.a.c. Una de ellas son los diagramas  $I_h$  vs.  $U_h$ , que representan un método cualitativo de frecuente uso en este campo.

En este tipo de diagramas se representa, para cada uno de los intervalos de 10' que componen la medición semanal, el valor de la corriente armónica en el eje de abscisas y la tensión armónica en el eje de ordenadas.

Para el caso en estudio, este diagrama se muestra en la Fig. 7.

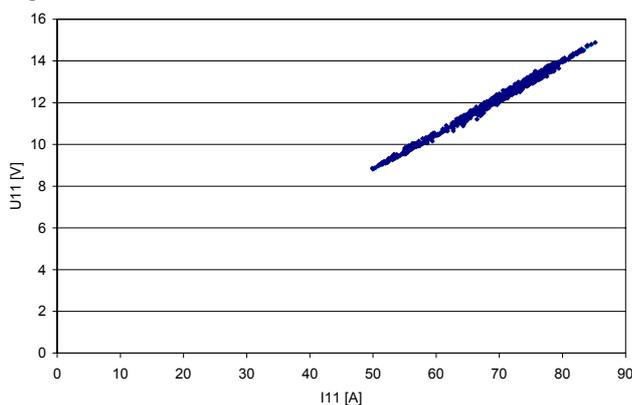


Fig. 7. Diagramas  $I_h$  vs.  $U_h$  para la Armónica 11°.

De la nube de puntos que aparece en la figura, se observa una fuerte correlación entre los valores de tensión y corriente armónica. Por lo tanto, es posible obtener analíticamente una recta que se ajuste a tal distribución, la que tendrá la forma  $U_h [V] = I_h [A] \cdot a + b$ .

En la Fig. 7 también se ha representado - escondida en la nube de puntos - la recta para el caso analizado, cuyos parámetros son  $a=0,17 \Omega$  y  $b=0,11$  V. El concepto físico de estos dos parámetros hallados es el siguiente:

-  $a$ , o sea la pendiente de la recta hallada, sería la reactancia de cortocircuito ( $x_{cc}$ ) del transformador para la frecuencia correspondiente a la armónica 11°. Esto podría comprobarse desde un punto de vista teórico ya que la  $x_{cc}$  para la armónica 11° está dada por:

$$x_{cc} = 11 \cdot x_{pu} \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_n}$$

En este caso  $U_{n1}=380$  V (tensión de línea de la alimentación) y  $S_n=500$  kVA (potencia del transformador desde donde es alimentado el usuario). Si además se tiene en cuenta que un valor típico de  $x_{pu}$  es 0,04, el valor teórico obtenido para  $a$  es 0,13, esto es del mismo orden que el hallado a partir de la medición.

-  $b$ , o sea la ordenada al origen, es el parámetro de la recta de mayor utilidad para el análisis que se está llevando a cabo. Esta ordenada al origen conceptualmente es la componente de armónica 11° que tendría la tensión de suministro en caso de que la componente de dicha armónica en la corriente fuera nula - o sea que la carga no tenga un comportamiento perturbador. Por lo que los 0,11 V referidos a la fundamental de tensión daría una componente de armónica 11° del orden de 0,05 %.

Como conclusión, en este caso la Distribuidora brindaría una tensión con un contenido armónico muy por debajo de los límites admisibles, quedando el usuario como responsable de la distorsión presente.

## 6.2 Emisión de flicker.

Tal como se hizo para las armónicas, a continuación se presentará un caso real de emisión de flicker hacia la red en un p.a.c.

En un cliente en MT se midió, con instrumental normalizado, el flicker presente en una fase de la tensión y el flicker emitido por el usuario a través del circuito esquematizado en la Fig. 3.

El cliente tiene una potencia contratada de 150 kW. Esto que implica, para un  $\cos\phi=0,85$ , una corriente máxima demanda ( $I_L$ ) de 7,7 A.

Con esta corriente se calculó la impedancia que produce una caída de tensión del 3 % -  $Z_{ref}$  - [1], resultando:

$$|Z_{ref}| = 0,03 \cdot \frac{U_n}{I_L} = 0,03 \cdot \frac{7,62 \text{ kV}}{7,7 \text{ A}} = 29,7 \Omega$$

Manteniendo la fase de la impedancia normalizada (lo que no es estricto para este nivel de tensión) para usuarios en BT con consumos menores o iguales que 16 A, es posible obtener la componente resistiva y reactiva del módulo hallado:

$$Z_{ref} = 25,2 + j 15,7 \Omega$$

La impedancia con la que había sido calibrado el simulador de línea normalizada -  $Z_N$  - es:

$$Z_N = 2,02 + j 1,26 \Omega$$

A partir de la  $Z_N$  es posible calcular la  $Z^*$  anteriormente descripta. Para ello, es necesario afectar la  $Z_N$  por todas las constantes que entraron en juego en la medición. Éstas fueron:

$K_N=2,5$  [A/V];  $U_{fase\ sistema}=7620$  [V];  $K_M=2,5$  [A/V];  $K_T=2$  [A/A]; y  $U_N=220$  [V], que reemplazadas en (1), dan:

$$Z^* = 17,3 \cdot (2,02 + j 1,26 \Omega) = 35,0 + j 21,8$$

Por lo tanto el Pst emitido, estará relacionado al medido de la siguiente manera:

$$Pst = Pst^* \cdot \frac{Z_{ref}}{Z^*} = Pst^* \cdot \frac{\Re(Z_{ref})}{\Re(Z^*)} = Pst^* \cdot 0,72 \quad (3)$$

El perfil semanal de ambas señales es el que aparece en la Fig. 8, donde se presenta el flicker medido directamente en la tensión (Pst-red) y el flicker emitido por el usuario, ya afectado por la relación (3).

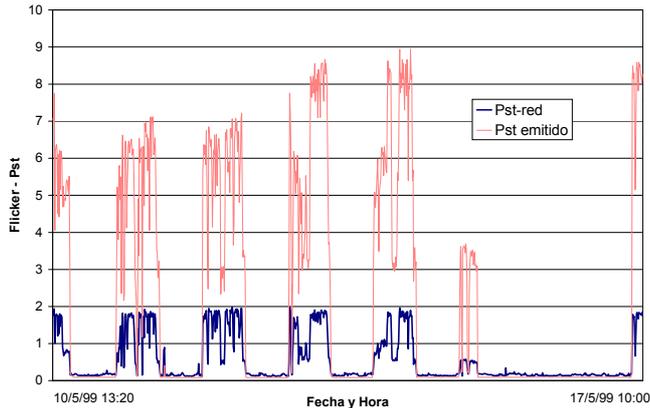


Fig. 8. Flicker en la tensión y emitido por el usuario.

En primer lugar debe notarse que el flicker en la tensión se encuentra por encima del Nivel de Referencia ( $Pst=1$ ). Esto implicaría, en principio, una penalización para la Distribuidora.

Es necesario entonces analizar si el flicker presente en el p.a.c. es debido a la emisión por parte del usuario. Según la Tabla 4 para un usuario de estas características, el valor máximo permitido para la emisión de flicker es un Pst de 0,37, valor superado ampliamente en la medición.

Es de importancia verificar el cumplimiento de la desigualdad (2), donde teniendo en cuenta que en este caso  $S_L=170$  kVA,  $S_{CC}^*=4,2$  MVA, se obtiene:

$$Pst > 0,07 \cdot Pst - red$$

Desigualdad que se cumple ampliamente.

Esto pone de manifiesto que el flicker presente en la red tiene su origen en la presencia de este usuario perturbador.

De todos modos se aclara que el criterio de transferir la emisión a tensión con la  $Z_N$  es claramente conservativo [10], ya que las impedancias de las redes suelen estar muy por debajo de esos valores.

En este caso, el efecto de la emisión es realmente de  $Pst=2$  cuando se presume que el usuario produciría mas, según el perfil obtenido.

## 7. REFERENCIAS:

[1] Anexo a la Resolución ENRE 99/97. *Base Metodológica para el Control de la Emisión de Perturbaciones. Etapa 2.*

[2] Claudio Guidi, Pedro E. Issouribehere. *Calidad de tensión. Experiencias en el control en los servicios de distribución.* Congreso CIREA Argentina '96. Buenos Aires. 2-5 diciembre de 1996.

[3] Anexo a la Resolución ENRE 184/00. *Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2.*

[4] C. Guidi, A. Galinski, J. Garcia, P. Issouribehere, D. Esteban, J. C. Barbero. *Perturbaciones en sistemas de potencia. Experiencias en la regulación y control en La Argentina.* VII Encuentro Regional Latinoamericano de CIGRE (VII ERLAC). Puerto Iguazú. Argentina. Mayo de 1997.

[5] IEC 60868. Flickermeter. Functional and design specification.

[6] IEC 61000-3-3. Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A.

[7] IEC 61000-3-5. 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.

[8] P. Issouribehere, D. Esteban. *Medición de la emisión de flicker por cargas perturbadoras mediante un simulador de red normalizada.* I Conferencia Internacional del Área Andina del IEEE. IEEE-ANDESCON99. Isla Margarita, Porlamar, Venezuela. 8-10 Setiembre, 1999.

[9] 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.

[10] P. Issouribehere, G. Barbera. *Adaptación de redes de distribución a las normas de flicker.* CIDEL Argentina 2002. Buenos Aires, Argentina. 2-5 Diciembre, 2002.