

EXPERIENCIAS DE MEDICION DE PERTURBACIONES EN UNA INDUSTRIA SIDERURGICA 132 kv/150 MVA

CAMPANA. PROVINCIA DE BUENOS AIRES - ARGENTINA

Pedro E. Issouribehere  
IITREE-UNLP

Alfredo Rifaldi  
TECHINT S.A.

Jorge L. Agüero  
IITREE-UNLP

Juan Barbero  
IITREE-UNLP

IITREE - Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos  
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 116  
(1900) La Plata - Argentina. TE (021) 3-6640 / 3-7017 Télex 31151 BULAP AR

TECHINT S.A. - Gerencia de Ingeniería - Depto. Eléctrico. Av. Leandro N. Alem 1050  
(1001) Buenos Aires - Argentina. TE (01) 313-9056.

Resumen

Se trata el tema de Cargas Perturbadoras aplicado a una instalación industrial compuesta de acerías y laminadores de tubos alimentada desde una red de 132 kV. De las mediciones, análisis y evaluaciones realizadas sobre los distintos parámetros perturbadores surge como determinante el flicker. Este fenómeno se trata con amplitud en los aspectos de técnicas de medición, criterios de perceptibilidad y tolerabilidad y métodos de evaluación. Se muestran los resultados obtenidos en cuanto a su efecto sobre la red, se evalúa el comportamiento de los métodos de mitigación instalados y se concluye sobre las mejoras a regular.

Palabras clave

Hornos de arco, compensador, flicker, mediciones, evaluación.

1.- Introducción

Las experiencias de medición motivo del presente artículo fueron realizadas en una planta siderúrgica, que en años recientes más que duplicó su capacidad de producción.

La planta, ubicada en Campana, Provincia de Buenos Aires, Argentina, está constituida principalmente por una acería eléctrica y laminadores continuos de tubos.

Los hornos eléctricos actuales son de potencias eléctricas de 35, 50, 62, 12 y 12 MVA. Los laminadores absorben, en total potencias de 38 MW pico.

La planta cuenta con una central eléctrica propia que aporta 30 MW. El resto del consumo es aportado por la red pública. La planta absorbía de ésta una demanda máxima (de 15 minutos) de 60-70 MW y amplió el consumo en la actualidad a 120 MW.

La red pública, en 132 kV, dispone de una potencia de cortocircuito en el punto de acoplamiento común del orden de 1200 MVA.

Debido al bajo factor de potencia de la carga (del orden de 0,7) se previó, entre las obras de ampliación de la planta, la instalación de un compensador de potencia reactiva. Este compensador de 75 MVar, ya en operación, es del tipo de reactor controlado por tiristores y bancos de capacitores configurados como filtros de armónicas. Fue previsto en el diseño del SVC que compensara el exceso de fluctuaciones (flicker) producido por la ampliación del consumo y que los bancos de filtros mejoraran la contaminación armónica de la red debido al proceso de fusión eléctrica.

Tanto en oportunidades previas, con fines de aporte al diseño de equipos, como posteriores a la ampliación de planta, con fines de verificación, se realizaron distintas campañas de mediciones de flicker, armónicas, desbalances, corrientes de inserción de transformadores y otras.

El presente escrito se orienta a documentar el efecto de compatibilidad de la operación de la planta en relación a la red, visto desde el punto de acoplamiento común. Por razones de espacio se tratarán solamente los resultados de la situación de flicker, ya que éste resultó el más significativo de los parámetros de perturbación.

2.- Flicker

2.1.- Técnicas de medición y criterios de ponderación

2.1.1.- Equipos de medición. Los utilizados en Argentina son de construcción IITREE, MDP-Modelo 2, diseño del año 1978 [17,18,21]. Sus etapas de tratamiento de señal son de implementación analógica, incorporando filtros, demodulador de precisión y filtro de "peso" de las fluctuaciones centrado en 10 Hz. Dispone de dos salidas analógicas proporcionales a las fluctuaciones pesadas y al valor medio de las crestas de tensión, respectivamente, aptas para registro oscilográfico. La etapa de procesamiento consiste en un conversor A/D de 8 bits, el cual digitaliza las fluctuaciones pesadas a razón de 100 muestras por segundo, teniendo como referencia al valor medio de las crestas ya citado. De esta forma, los datos numéricos corresponden directamente a valores por unidad. Con el tratamiento de los datos, es obtenible:

$$a_{10,eq} = \sqrt{\frac{2}{T_m} \int_0^{T_m} \{p(t)\}^2 dt} \cdot 100 \quad (1) \quad \text{ó} \quad A = a_{10,eq}^2 \cdot T_m \quad (2)$$

donde  $a_{10,eq}$  es el flicker eficaz equivalente de las fluctuaciones  $p(t)$ , durante el intervalo de medición  $T_m$ .  $A$  es la molestia visual acumulada o dosis de flicker. Nótese que  $a_{10,eq}$  equivale al índice de modulación eficaz de las fluctuaciones pesadas. Los resultados son presentados sobre un panel numérico y en un impresor de lectura directa. Son programables por teclado el parámetro  $A$  indicar ( $A$  ó  $A^2$ ), el intervalo de medición  $T_m$  y el tiempo de espera entre mediciones sucesivas (1 a 999 s) y el número de mediciones reiteradas, 1 a 999.

Dado que en la actualidad se dispone de normas constructivas para medidores de flicker (IEC 868 del año 1986, [3]) se comparan brevemente las diferencias que el MDP utilizado tiene respecto a esta norma.

\* Filtro pasabanda. Para tener en cuenta la distinta respuesta del conjunto lámpara incandescente-visión humana a las diversas frecuencias de las fluctuaciones, se utilizan filtros pasabanda que reproducen esta transferencia. La curva de IEC tiene su frecuencia central en 8,8 Hz. Aparentemente esta frecuencia tan especial fue obtenida por convención a efectos de contemplar criterios diversos de franceses y alemanes. El del MDP-Modelo 2, tiene su frecuencia central en 10 Hz, adoptada en su oportunidad de acuerdo a la literatura de la época, sobre todo francesa. Para una fluctuación senoidal pura, en el entorno de 8,8 y 10 Hz, ambas curvas no se apartan en más

de un 5 %. Siendo ésta la tolerancia de ajuste prevista en IEC, puede concluirse que la diferencia no es significativa. Por otra parte, para fluctuaciones de espectro continuo, tal el caso del flicker originado por hornos de arco, el parámetro del filtro de mayor interés es el ancho de banda, y ambos coinciden.

\* Retardo de la referencia. Para indicar las fluctuaciones respecto al valor medio de la tensión, es decir, en p.u. o %, es necesario referir las fluctuaciones pesadas por el sistema de detección a ese valor medio. En el medidor de IEC existe a la entrada un control automático de ganancia que ajusta el nivel de tensión (de referencia) a un valor fijo. Por lo tanto, las fluctuaciones obtenidas a la salida corresponden directamente a valores p.u. o %. En el medidor MDP-Modelo 2 existen dos salidas: las fluctuaciones pesadas y la tensión de referencia. Las fluctuaciones por unidad o % se obtienen por cociente de ambas. La adecuación de la referencia al nuevo valor tiene una constante de tiempo de minutos en IEC y de 0,5 s en el MDP-Modelo 2. Para fluctuaciones repetitivas de frecuencia mayor a 1 Hz, la diferencia entre ambos métodos no es significativa.

\* Procesamiento y evaluación. En el medidor IEC las fluctuaciones relativas pesadas son elevadas al cuadrado y filtradas con  $\tau = 0,3$  s (salida del bloque 4). Hasta este punto está normalizado el equipo. Se muestran tratamientos posteriores tales como raíz cuadrada e integración del valor anterior. El MDP Modelo 2 realiza la determinación del valor eficaz de la fluctuación dando el valor  $a_{10,eq}$  de la expresión [1]. Puede decirse que  $a_{10,eq}$  es la amplitud p.u. de una senoide de 10 Hz que tiene el mismo contenido eficaz de las fluctuaciones reales. Ambas tienen el mismo valor eficaz. El significado de  $a_{10,eq}$  puede verse en la Figura 1, para una fluctuación senoidal de 10 Hz. Coincide con la definición clásica del índice de modulación. El medidor IEC expresa los resultados en función de  $\Delta V/V$ . Siempre y cuando el intervalo de evaluación  $\tau$  sea mayor a la constante de tiempo de 0,3 s interna al bloque 4 del medidor IEC, la salida indicada como "raíz cuadrada", equivaldría al valor  $a_{10,eq}$  indicado por el MDP-Modelo 2. Mientras que la salida indicada como "integral" efectiva durante 1 minuto, equivaldría al valor "A" del MDP-Modelo 2, siendo "A" la dosis de flicker en 1 minuto.

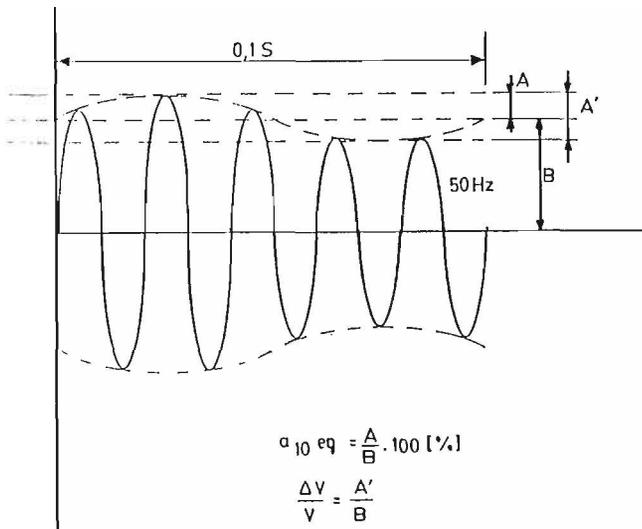


Figura 1 - Comparación de la definición de  $a_{10,eq}$  para el MDP-Modelo 2 con  $\Delta V/V$ .

\* Interpretación de resultados. De todo lo expuesto precedentemente se concluye que las mediciones del MDP-Modelo 2 deberían tener un alto grado de concordancia con las realizables con un medidor IEC, sobre todo para fluctuaciones de espectro continuo, tales como las producidas por hornos de arco. Debe prestarse atención a la diferencia de criterio respecto al parámetro medido, definido según:

- Como índice de modulación clásico, tal como se realiza en el MDP-Modelo 2 y que corresponde a  $A/B$ , según la Figura 1.
- Como fluctuaciones cresta-cresta o saltos de tensión para casos esporádicos tal como se interpreta en el medidor IEC y que corresponde a  $A'/B$ , según la Figura 1.

Obsérvese que  $A'/B$  es igual a  $\sqrt{2}$  veces  $A/B$ . De todas formas las mediciones realizables con una u otra definición son, naturalmente, convertibles.

2.1.2. Perceptibilidad y tolerabilidad. Resultan todavía, como se verá en lo que sigue, bastante diversos los criterios para acordar sobre el umbral de perceptibilidad del flicker. Son aún más dispares los criterios para determinar los niveles de severidad o tolerabilidad admisibles.

Las experiencias referidas a la determinación del umbral de perceptibilidad del flicker se realizan desde la década del 30.

Debe entenderse que el fenómeno es de por sí subjetivo, es decir que distintos observadores indican muy diversos umbrales de perceptibilidad. Esto hace que la determinación del umbral deba realizarse sobre bases estadísticas. Así, podrá decirse que el umbral es tal valor para el 50 % de los observadores, otro valor para el 10 %, etc. Algunos criterios para la fijación del valor tienen en cuenta la recepción de quejas. Así, para un determinado nivel de flicker, la probabilidad de recibir un reclamo dependerá de la población alcanzada. A mayor población mayor probabilidad de recibir alguna queja y, por lo tanto, el nivel admisible será menor.

Otras causas motivos de discrepancia en cuanto al umbral son:

- Tipo de luminaria utilizada para las experiencias. El flujo luminoso (o intensidad lumínica o iluminación) obtenido desde una determinada fluctuación será del orden de 4 veces mayor para una lámpara incandescente que para un tubo fluorescente. En base a esto es que casi todas las experiencias hacen referencia al umbral para lámparas incandescentes. Dentro de éstas se obtienen resultados diversos según las potencias y constantes de tiempo de las lámparas. En general la referencia más aceptada es la lámpara incandescente duo espiral de 220 Vca/60 W.
- Metodología para la realización de la experiencia. Posición del observador, si lee un texto o no, si se espera que advierta o se lo encuesta a medida que se aumenta el nivel, etc.
- Forma de onda de la fluctuación utilizada. Para igual frecuencia una modulación de onda cuadrada produce mayor molestia que una onda senoidal de igual amplitud. Por supuesto las experiencias son sensibles a la frecuencia de modulación.
- Son también, a veces, motivo de controversia las definiciones que se utilizan para definir la fluctuación. Dos son las formas básicas de definición (ver Figura 1).

A continuación se indican algunos criterios referidos a los niveles de flicker.

Westinghouse, 1964 (USA) [7]. Corresponde a investigaciones sobre flicker realizadas en la década del 30 por la compañía Edison, con lámparas de filamento de tungsteno a 115 Vca.

Los resultados para el umbral de percepción a la frecuencia de 8 Hz a la que se obtiene la máxima sensibilidad son: 50 % de los encuestados:  $\Delta V/V = 0,6$  % ; 10 % de los encuestados:  $\Delta V/V = 0,35$  % ; 90 % de los encuestados:  $\Delta V/V = 1$  %.

ERA, P.G. Kendall (Inglaterra) [8]. Corresponde a un muy completo trabajo llevado a cabo por el Electrical Research Association (ERA), Inglaterra, durante los años 1959/64.

Las experiencias fueron realizadas sobre todo con lámparas de 220 Vca/60 W. Se realizaron determinaciones a diversos  $\Delta V/V$ . Para cada valor se indicó a los encuestados que determinarían la calificación de flicker de acuerdo a:  $m = 1$ , no visible ;  $m = 2$ , perceptible ;  $m = 3$ , visible ;  $m = 4$ , incómodo ;  $m = 5$ , intolerable. En base a los resultados se obtuvo un valor  $\underline{m}$  medio de la encuesta para cada  $\Delta V/V$ .

Se define en base a lo anterior un valor:  $\Delta V/V = 0,25$  % a 8 Hz, que corresponde a la fluctuación que un 95 % de los encuestados o no ven o apenas perciben. Este es, naturalmente, un umbral sumamente riguroso.

A los resultados obtenidos se les puede dar diversa interpretación. Por ejemplo, si se elige un  $\underline{m}$  medio de 2,5, que correspondería a que el 50 % de la población indica que "percibe" o "ve" el flicker, se obtendría:  $\Delta V/V = 0,56$  % a 8 Hz.

British Electricity Council (Inglaterra) [5,6]. Se define la fluctuación como la relación de valor eficaz de fluctuación al valor eficaz de tensión,  $V_f$  (%). Citando al ERA y al CEC Subcommittee P3, indican:

$V_f$ (%)	Reacción
0,20	Perceptible, no molesto
0,25	Visible, no molesto
0,30	Inconfortable o intolerable
> 0,30	Intolerable

En consideración a lo anterior y a los efectos de recomendar los niveles admitidos en redes indican un valor  $V_{fg}$ , que es el valor de fluctuación que no es superado más del 1 % del tiempo. Los niveles aceptados son:

$V_{fg} \leq 0,25 \%$        $V = 132 \text{ kV}$  o menor  
 $V_{fg} \leq 0,20 \%$        $V$  mayor a  $132 \text{ kV}$

René Pelissier (Francia) [9]. Indica que el umbral es provocado por una fluctuación senoidal de frecuencia 10 Hz y de amplitud relativa 0,3 %.

El nivel de molestia es obtenido para fluctuaciones del 1 a 1,5 % para fenómenos de larga duración y superior para fenómenos pasajeros.

Miller (USA) [10]. Define el umbral de percepción como: tensión de modulación sinusoidal continua a 7-8 Hz de 0,3 % RMS.

Electricité de France (Francia) [1,11,12]. Los franceses son los iniciadores del concepto de:

$a_{10}$  : fluctuaciones de frecuencia de 10 Hz que modula a la frecuencia industrial.

$a_{10}$ , equivalente: equivalente de un espectro de fluctuaciones pesado a través de un filtro con máxima sensibilidad en 10 Hz.

A (o G): dosis de flicker, integral en el tiempo del cuadrado del parámetro  $a_{10,eq}$ .

De bibliografía previa al año 80 parecía deducible que la definición se refería a índice de modulación, es decir valor cresta de la onda modulante a valor cresta de la portadora (frecuencia industrial). Sin embargo, en las referencias 1 y 12 se aclara que se refieren a  $\Delta V/V$  y establecen el umbral en 0,3 %.

IEC 555-3 [4]. La norma trata sobre las fluctuaciones de tensión máximas admisibles para aparatos electrodomésticos. Estos son los niveles que se admiten que un aparato electrodoméstico genere sobre una impedancia de red normalizada.

Los valores admisibles se dan en porcentaje  $\Delta V/V$  en función de la cadencia de repetición del cambio de tensión.

Curvas como la adoptada por la norma ya aparecen en las referencias 11 y 12, de las normas NFC70-100 (E. de F., Francia) y EN 50006 (Norma Europea). Se indica que las curvas tienen orígenes diversos, la zona de baja cadencia que es empírica y la zona de flicker propiamente dicha ( $f > 0,5 \text{ Hz}$ ) que tiene base experimental.

A la frecuencia de máxima sensibilidad, 8,8 Hz, el  $\Delta V/V$  admisible es 0,28 %.

Medidor IEC [3]. Para la normalización de la curva de respuesta se adoptó una función  $\Delta V/V$  dependiente de la frecuencia, con máxima sensibilidad en 8,8 Hz. A esta frecuencia el  $\Delta V/V$  de referencia es 0,25 %, modulación senoidal.

Experiencia de laboratorio del IITREE. Se dispuso una lámpara incandescente común duoespiral de 60 W y 220 Vca alimentada por una tensión de amplitud controlable.

La lámpara se instaló en un cuarto oscuro, siendo la única iluminación existente. Se indicó a los encuestados la lectura de un texto, estando dispuesta la luminaria en condiciones normales de lectura, tal como cuando se lee con un velador.

Se utilizó un Generador de Fluctuaciones Patrón y un amplificador de potencia [21].

La fluctuación generada fue sinusoidal pura y de frecuencia de 10 Hz. El nivel de fluctuación fue aumentando desde cero hasta determinar el umbral subiendo ( $a_{10,eq}$  1), se continuó aumentando el flicker y luego se disminuyó hasta determinar el umbral bajando ( $a_{10,eq}$  4).

Sobre una determinación de 94 casos (38 personas) se obtuvieron los siguientes resultados: Umbral medio:  $a = 0,29 \%$  ( $\Delta V/V = 0,58 \%$ ). Umbral para el 10 % de los encuestados: 0,19 % ( $\Delta V/V = 0,38 \%$ ). Umbral para el 90 % de los encuestados: 0,44 % ( $\Delta V/V = 0,88 \%$ )

La estadística general se muestra en la Figura 2.

Puede concluirse que, en base a la encuesta, el umbral de percepción a adoptar es:  $a_{10,eq} = 0,3 \%$ . Esto válido para las condiciones de la experiencia, que son normales en relación a otros estudios, y para la interpretación del parámetro  $a_{10,eq}$  como índice de modulación relativo, porcentual.

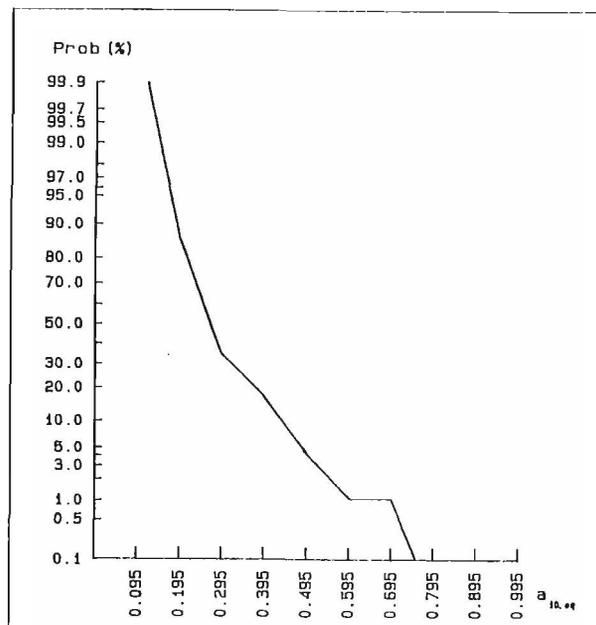


Figura 2 - Resultados de experiencias de laboratorio.

### Comentarios

\* Tal como se mencionó en la introducción de este párrafo los resultados sobre umbral de percepción de flicker son dispares. Una primera diferencia corresponde a la frecuencia de máxima sensibilidad al fenómeno por parte del conjunto lámpara incandescente-visión humana. El valor se selecciona dentro del rango de 7 a 10 Hz, lo cual no resulta en la práctica muy relevante. Esto en relación a que la percepción no tiene una "sintonía" muy aguda y, además, porque la mayoría de las fuentes de flicker son de espectro continuo en la zona (caso de hornos de arco, por ejemplo).

En cuanto a las amplitudes suelen mezclarse dos conceptos: el umbral de percepción, como puede ser obtenido de un experimento fisiológico y el nivel admisible, emparejado con el anterior pero que puede incluir algún factor de "reserva". Como ambos, en general, no pueden distinguirse con claridad en la literatura, por el resumen de todos los criterios se obtendría:

- Un umbral de percepción alto:  $\Delta V/V = 0,6 \%$  ( $a = 0,3 \%$ )

- Un umbral de percepción bajo:  $\Delta V/V = 0,25 \%$  ( $a = 0,125 \%$ )

El caso superior correspondería a lo indicado, por ejemplo por Westinghouse o la experiencia del IITREE. El caso inferior correspondería a lo adoptado en el medidor IEC.

\* Para el medidor de IEC (IEC 868) se dice que el  $\Delta V/V = 0,25 \%$  para onda senoidal de 8,8 Hz corresponde a umbral de percepción para el 50 % de las personas. Este umbral no parece estar de acuerdo con las experiencias de laboratorio, inclusive está por debajo de la curva IEC 555-3 ( $\Delta V/V = 0,28 \%$ ), a la que citan como referencia. Además se cita en artículos referidos a este medidor que el nivel de aceptación de flicker no está normalizado todavía [2].

\* La norma IEC 555-3 se aplica a los aparatos electrodomésticos.

Las fluctuaciones de tensión admisibles en una red son de  $\pm 10 \%$  alrededor del nivel nominal, es decir que un  $\Delta V/V$  del 20 %, partiendo desde el nivel bajo al alto o viceversa, resultaría aceptable. Sin embargo, la norma admite solo un  $\Delta V/V$  máximo, para la mínima cadencia de ocurrencia, del 3 %. Es evidente que el espíritu de la convención en la norma es que un solo equipo electrodoméstico solo ocasiona una pequeña parte de la fluctuación admisible en la red. Esto para bajas cadencias. En la zona de flicker propiamente dicha ( $f > 0,5 \text{ Hz}$ ) y, para  $f = 8,8 \text{ Hz}$ , se admite que el equipo bajo prueba genere  $\Delta V/V = 0,28 \%$ .

Cabe entonces preguntarse: ¿ es que aquí el espíritu de la norma cambia y se admite que un solo aparato electrodoméstico genere todo el nivel admisible ? ¿ O es que el nivel admisible sobre una red sería superior a este valor

\* No existen, a la fecha, niveles de flicker acordados internacionalmente para redes eléctricas.

\* De lo expuesto se concluye que, con carácter de propuesta de aplicación provisoria, debería mantenerse en el país el criterio de umbral en:  $a = 0,3\%$  ( $\Delta V/V = 0,6\%$ ). Aplicable, como criterio mínimo, para grandes cargas per turbadoras conectadas a redes débiles. Con esta cifra como piso (umbral de percepción adoptado) es que debe trabajarse sobre criterios de tolerabilidad a los efectos de ponderar la persistencia de transgresiones temporarias a este umbral.

2.1.3.- Métodos de evaluación. Debido a la naturaleza aleatoria de las fluctuaciones, es previsible que el umbral de flicker sea temporariamente superado. Queda, entonces, el problema de evaluar la tolerabilidad de estas transgresiones.

En todos los casos se entiende que las mediciones se realizan en el punto de acoplamiento común (p.a.c.) entre el consumidor y la red y que las mismas se realizan en periodos prolongados a efectos de incluir varios periodos de operación de la carga.

Método de estimación del flicker tolerable de Electricité de France [1]. Se establece el umbral de perceptibilidad del flicker en:  $a_{10} = 0,3\%$ . A partir de este nivel debe estimarse si el flicker es o no tolerable. El criterio utilizado está asociado a la experiencia recogida en la evaluación de la tolerabilidad de observadores expuestos a iluminación incandescente durante procesos de fusión en hornos de arco.

El periodo de exploración se extiende un total de 25 minutos y dividido en dos zonas:

\* Zona de flicker perceptible, intermitente, de los 15 minutos iniciales. El comienzo es a partir de que el flicker, "a", supera el umbral de perceptibilidad, con los 10 minutos previos libres de transgresiones. El límite de la zona se asocia al máximo tiempo soportable por un observador.

\* Zona de descanso, de 10 minutos. de recuperación luego de la exposición previa.

En la primera zona se calcula:  $A(\tau) = \int_0^\tau a(t)^2 dt$  que es la "dosis" de flicker o molestia visual acumulada hasta el instante  $\tau$ .

Esta expresión, para el flicker umbral, es una recta indicada en la Figura 3.  $A_u = 0,3^2 t$ .

Se admite que los valores  $A(\tau)$  superen a  $A_u(\tau)$ , como se ejemplifica en la figura, pero:  $A(15) \leq A_u(15)$ . Es decir que la dosis al cabo de 15 minutos debe ser menor o igual que la dosis umbral:  $A(15) \leq 1,35\% \text{ min}^2$ .

Se admite entonces "sobredosis" en el intervalo de 15 minutos pero con la condición que la integral de la sobre dosis sea:  $\Delta S \leq 0,15 \cdot 0,3^2 \cdot 15 \text{ min}^2 = 1,5\% \text{ min}^2$ .

$\Delta S$  es la diferencia, marcada en la Figura 3, entre las áreas bajo las curvas de A y  $A_u$  hasta 15 minutos.

$\Delta S$  debe ser menor o igual al 15% del área bajo la curva de  $A_u$ , hasta 15 minutos.

En la segunda zona (10 minutos) no se admiten transgresiones de flicker al umbral de perceptibilidad.

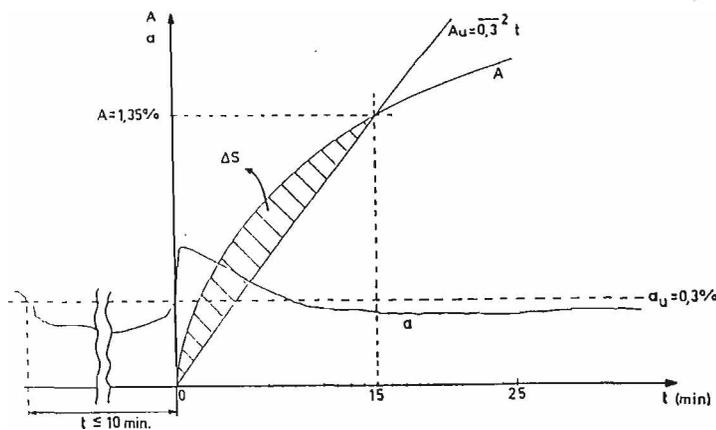


Figura 3 - Método de estimación de tolerabilidad de Electricité de France.

Método de evaluación de flicker de la ENEL (Italia) [2].

Corresponde a un método para evaluar la severidad de flicker, ponderando no solamente la amplitud del fenómeno sino también su persistencia en el tiempo.

Lo que sigue corresponde a la Interpretación de la Referencia 2, donde los autores pertenecen a ENEL y son integrantes de los Grupos de Perturbaciones de la Unión Internacional de Electrotérmica (UIE) y de la Comisión Italiana de Electrotérmica.

El método se basa en la utilización del medidor normalizado IEC 868/1986. El equipo da como salida una variable de nominada "sensación de flicker",  $S(t)$ . Esta salida es proporcional al cuadrado de las fluctuaciones de tensión y aplicada a través de un filtro pasabajos. La salida  $S(t)$  se refiere al valor correspondiente al umbral de percepción. Son entonces, valores en p.u. de percepción.

A partir de esta variable, tratando estadísticamente los resultados, es que se pretende obtener un "nivel de severidad de flicker", P, incorporando la persistencia (duración en el tiempo) de los niveles de la sensación.

La evaluación es realizable a dos tiempos diferentes: periodos breves (short-term) y periodos largos (long-term).

El periodo breve se toma en 10 minutos. Para este caso el método consiste en confeccionar la curva de probabilidad acumulada de los  $S(t)$ , durante todo el intervalo. Se tendrá entonces, un dibujo en el que se apreciarán los  $S(t)$  de mayor valor con una menor probabilidad de ocurrencia, o lo que es equivalente, que persisten menos en el tiempo. Se trata, en base a la estadística, de obtener un único número P que la caracterice.

Por otra parte, los autores hacen referencia a la norma IEC 555-3 [4] de la cual toman las fluctuaciones  $\Delta V/V$ , admisibles según su cadencia en tiempo. Fluctuaciones mayores son admisibles si su repetibilidad es menor.

Asimilando la probabilidad de ocurrencia de un determinado  $S(t)$  a una cadencia de repetición equivalente es posible obtener coeficientes de peso para niveles típicos de  $S(t)$ . Así definen:

$$P_{ST} = \sqrt{0,0314 S_{0,1} + 0,0525 S_1 + 0,0657 S_3 + 0,28 S_{10} + 0,08 S_{50}}$$

donde:  $P_{ST}$ : nivel de severidad del flicker en periodos breves.

$S_{0,1}$ : sensación con una probabilidad de ser igualada o superada del 0,1 %

$S_1$ : idem para 1 %, etc.

Dada la forma de elaboración de  $P_{ST}$ , este parámetro incluye la ponderación de la frecuencia de la fluctuación y también de la persistencia del fenómeno.

El pesado en frecuencia lo realiza el propio equipo, sobre  $S(t)$ , y el pesado en persistencia se hace a través del tratamiento matemático de  $S(t)$ , que culmina en  $P_{ST}$ .

Como el parámetro está referido al umbral, los valores son por unidad.

Para una fluctuación  $\Delta V/V$  repetitiva y estable durante un periodo de medición, el valor de P, denormalizado, coincidirá con  $\Delta V/V$ .

Para periodos largos, se mantiene la subdivisión de 10 minutos.

$$P_{LT} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^N \frac{P_{STi}^3}{N}}$$

Donde:  $P_{LT}$ : nivel de severidad en periodos largos.

$P_{STi}$ : Nivel de severidad del i-ésimo periodo breve (10 minutos).

N: Número de periodos breves incluidos en un periodo largo.

Los autores no indican niveles de severidad admisibles. Estos están en estudio en IEC.

Método de evaluación de flicker de Electricity Council (Inglaterra) [5,6]. Se define el parámetro Vf que es el valor porcentual obtenido de la relación entre el valor eficaz de las fluctuaciones y la tensión a frecuencia industrial.

Este valor Vf es registrado durante periodos prolongados. Con todos los valores obtenidos se construye la curva de frecuencias relativas acumuladas. En base a esta estadística se define el valor Vf<sub>g</sub> que es el nivel de Vf no supera do más del 1% del tiempo.

La situación de flicker se considera aceptable si:

$$\begin{aligned} Vf_g &\leq 0,25 \text{ para } U \leq 132 \text{ kV} \\ Vf_g &\leq 0,20 \text{ para } U > 132 \text{ kV} \end{aligned}$$

La discriminación se justifica en consideración a que sistemas de mayor tensión propagarán la contaminación a un número presuntamente mayor de consumidores.

## 2.2.- Mediciones y evaluación de parpadeo en Campana

Corresponde a la evaluación del "flicker" en el punto de acomplamiento común entre el establecimiento metalúrgico SIDERCA (Campana, Provincia de Bs. As.) y la empresa proveedora de energía, La Dirección de Energía de la Provincia de Buenos Aires (DEBA).

El nivel de tensión de la barra es 132 kV.

La información base para el análisis ha sido obtenida en campo en dos oportunidades: marzo/abril de 1988 y mayo de 1986.

Las mediciones han sido realizadas mediante el medidor previamente descrito. En ambos casos se utilizó la modalidad de mediciones reiteradas de 1 minuto con 1 minuto de espera.

Se dispone del orden de 9 días de medición para el año 1988 y de 3 días para el año 1986. Ambas bases de datos pueden considerarse representativas de las situaciones de operación normales de la planta, para ambos años. Para el año 1988 corresponde a la situación con la ampliación de la acería y el equipo compensador instalado en operación típica.

El estudio tiene por objetivo analizar la severidad del fenómeno a través de diversos métodos de evaluación de aplicación en diversos países. La aplicación de los métodos a ambos casos permite obtener conclusiones respecto a la evolución del fenómeno luego de la ampliación de la acería. Se han utilizado cuatro procedimientos de evaluación, a saber:

2.2.1.- Método E. de F. El método se ha adaptado para su aplicación al tipo de información disponible. Se definieron zonas de exploración del método de 26 minutos cada una (8 + 5 mediciones).

Se distinguen zonas de flicker no perceptible ( $a \leq 0,3\%$ ), zonas de flicker perceptible pero tolerable (donde los criterios del método no fueron superados) y zonas no tolerables (donde los criterios fueron superados).

Los resultados para ambas campañas de medición, resumidos, son:

AÑO	Número de mediciones	Número de zonas de exploración			
		Total	No Perceptible	Perceptible Tolerable	Perceptible No Tolerable
1988	6247	480	296	64	120
			360		
1986	1998	154	92	37	25
			129		

El porcentaje de zonas en las que se transgrede el umbral de perceptibilidad es similar en ambas situaciones: en marzo/abril 1988 hay 184 zonas sobre 480 posibles, 38 %; en mayo 1986 hay 62 zonas sobre 154 posibles, 40 %.

En cambio, el porcentaje de zonas en las que se transgrede la tolerabilidad del flicker es mayor para la situación actual: en marzo/abril 1988 hay 120 zonas sobre 480 posibles, 25 %; en mayo 1986 hay 25 zonas sobre 154 posibles, 16 %.

La diferencia se debe a que:

Los niveles de flicker ( $a_{10,eq}$ ) son ligeramente superiores en la situación actual.

La zona de flicker visible es más persistente, en cada caso. Debido a esto numerosos casos de la situación previa cumplen con el criterio de tiempo de descanso.

Conclusión: El flicker ha aumentado ligeramente en amplitud y sobre todo en persistencia respecto a la situación previa.

2.2.2.- Método ENEL. El método de ENEL puede adecuarse, provisoriamente, al tipo de información disponible de la forma que se indica a continuación.

Disponiendo de información de mediciones en la modalidad de 1 s x 1 s, durante un período comparable a 10 minutos, podría realizarse la estadística de dichas mediciones. De la curva de frecuencias acumuladas se obtendrían:

$$a_{50}^2; a_{10}^2; a_3^2; a_1^2; a_{0,1}^2$$

que serían los correspondientes valores al cuadrado de  $a_{10,eq}$  medidos por el instrumento, con probabilidades de ocurrencia iguales o mayores al 50 %, 10 %, 3 %, 1 % y 0,1 % respectivamente.

Utilizando los coeficientes de peso de ENEL, se obtendría:

$$a_{ST} = \sqrt{0,0314 a_{0,1}^2 + 0,0525 a_1^2 + 0,0657 a_3^2 + 0,28 a_{10}^2 + 0,08 a_{50}^2}$$

Este valor de "a" correspondería al flicker de breve período, correspondiente a la ponderación de las fluctuaciones, en frecuencia y en persistencia.

Como la información de mediciones se dispone en la modalidad de 1 minuto x 1 minuto queda todavía una dificultad adicional.

En un período  $S_T$  (10 minutos) se dispondrá solamente de 5 mediciones. El esquema de procedimiento para este caso es:

- Disponiendo de varios ejemplos de mediciones de 1 s x 1 s, por ejemplo de 10 minutos, calcular:

$$a_{ST} \text{ y } \bar{a}_{\min} \quad \bar{a}_{\min} : \text{valor medio cuadrático de 5 mediciones de 1 minuto.}$$

- Para varios casos buscar un factor de correlación.

$$a_{ST} = \beta \cdot \bar{a}_{\min}$$

- Para todas las mediciones de 1 minuto x 1 minuto (de las que no se dispone de información en el interior) adoptar "β" para obtener los  $a_{ST}$  equivalentes de cada  $S_T$ .

- Se realizaron 25 mediciones de 10 minutos, en la modalidad de 1 s x 1 s obteniéndose:  $\beta = 1,5$ .

Evidentemente todo el procedimiento anterior solo tiene valor como ejercicio matemático si no se fija algún límite de severidad admisible. En base a este límite podrá decirse, luego, en qué casos la situación de flicker es tolerable.

Tomando como base el criterio de E. de F., que permite "sobredosis" instantánea, pero al cabo de 15 minutos la dosis final debe ser menor al umbral de perceptibilidad, la analogía para este procedimiento de evaluación sería que  $a_{ST}$  (de 10 minutos) fuera menor al 0,3 %. Esto correspondería, aproximadamente, con el criterio de  $P_{ST} \leq 1$  de ENEL.

Los resultados resumidos, para ambas campañas de medición, son:

AÑO	Número de mediciones	N° de intervalos de 10 minutos		
		Total	Admisible	No admisible
1988	6247	1253	809	444
1986	1998	402	267	135

La situación ha desmejorado levemente en cuanto al porcentaje de tiempos en los que se transgrede la condición de tolerabilidad (35,4 %, año 1988; 33,6 %, año 1986).

Los valores máximos calculados de  $a_{ST}$  han aumentado ligeramente, por ejemplo, el  $a_{ST}$  de 1 % de probabilidad pasa de 0,65 % en 1986 a 0,70 % en 1988.

2.2.3.- Método BEC. La interpretación del método consiste en definir un valor  $a_{fg}$  que es el flicker con probabilidad del 1 % de ser superado.

El total de mediciones del año 1988 fue subdividido en 15 lotes. De la evaluación estadística se obtuvieron igual número de valores de  $a_{fg}$ . El valor medio de todos ellos fue de 0,54 %. El valor máximo para un lote individual fue de 0,64 %.

Para el conjunto de mediciones del año 1986 el valor de  $a_{fg}$  fue 0,48 %. Se observa una clara transgresión al criterio de aceptación y un leve aumento del parámetro entre los años 1986 y 1988.

2.2.4.- Método de evaluación horaria. Se trata de evaluar las mediciones de flicker realizadas en SIDERCA mediante la utilización de la propuesta para control del fenómeno emitida por el IITREE en el año 1980/81 a DEBA.

El criterio es en realidad una propuesta para la fijación de límites. Tanto es así que ciertos valores numéricos se emiten por vía de ejemplo.

De todas formas se realizará la evaluación tomando dichos valores como supuestamente aceptados.

Sucintamente los criterios son:

- 1) Verificar hora por hora que el valor  $A$  (hora)  $\leq 5,4 Z^2 \text{ min}$ , lo que es equivalente, que el valor:  $a_h \leq 0,3\%$ . Donde  $a_h$  es el valor medio cuadrático de todas las mediciones realizadas durante la hora.

$$a_h = \sqrt{2 \text{ min} \sum_{i=1}^{30} a_i^2}$$

con  $a_i$ : valores de las mediciones de 1 minuto, con 1 minuto de intervalo (30 por hora).

- 2) Verificar hora por hora que no más de un valor de  $a_i$ , sea  $a_i$  máximo  $\geq 1\%$ .
- 3) Verificar día por día que no más de un valor de  $a_1$  sea  $a_1$  máximo  $\leq 2\%$ .

Resultados para las mediciones de marzo/abril de 1988.

El total de mediciones realizadas permite obtener 204 intervalos de 1 hora cada uno. Se obtienen entonces 204 valores de  $a_{11}$ .

Los criterios 2) y 3) para los valores individuales de  $a$  (1 minuto) se cumplen en todos los casos.

El criterio 1) no se cumple en 12 de los 204 casos.

Evaluación de las mediciones de mayo 1986.

El total de mediciones realizadas permite obtener 67 valores de  $a_{11}$ . Los criterios 2) y 3) se cumplen en todos los casos. El criterio 1) no se cumple en 2 de los 67 ras.

#### Comentarios

- Se observa un grado de perturbación por flicker en el p.a.c. no admisible.
- El flicker no ha aumentado apreciablemente desde el año 1986 al 1988 pese al sustancial aumento de potencia de cortocircuito de la acería a potencia de cortocircuito de la red invariable. Se observa un efecto compensador del SVC, el cual es tratado a continuación.

#### 2.3.- Estimación del factor de mejoría del flicker por efecto del SVC

Potencia de cortocircuito de hornos de arco. Corresponde a los valores de la potencia reactiva vista desde el p.a.c. (donde interesa conocer el flicker, barra de 132 kV para SIDERCA) con los electrodos del horno sumergidos en el baño y el regulador del transformador del horno en su máximo escalón. Esta suele ser la definición más habitual, aunque lo de máximo escalón podría interpretarse como el utilizado normalmente durante la fusión.

SIDERCA dispone de 3 hornos de arco. A continuación se indican las potencias nominales y de cortocircuito.

HORNO N°	Sn [MVA]	Sf [MVA]	Observaciones
3	35	67	Máximo escalón
		130	Máximo escalón
4	48	108	Escalón N° 15
		157	Máximo escalón
5	62	142	Escalón N° 16

Potencia de cortocircuito del horno equivalente. Se utiliza el criterio de ENEL [13]. Para dos hornos y si la primera fusión no coincide en el tiempo es:

$$S_{f \text{ eq}} = \sqrt{S_{f1}^2 + 0,8 S_{f2}^2} \quad S_{f1}: \text{horno de mayor potencia.}$$

Para el caso de SIDERCA sería:

- Año 1986. Solo hornos 3 y 4 y considerando el escalón N° 15.  $S_{f1} = 108 \text{ MVA}$ ;  $S_{f2} = 67 \text{ MVA}$ ;  $S_{f \text{ eq}} = 123 \text{ MVA}$ .
- Año 1988. Hornos 3, 4 y 5. Se supone el caso de operación de hornos 4 y 5 con el mayor en fase de primera fusión y escalón N° 16.  $S_{f1} = 142 \text{ MVA}$ ;  $S_{f2} = 108 \text{ MVA}$ ;  $S_{f \text{ eq}} = 172 \text{ MVA}$ .

Estimación provisoria del efecto de atenuación del flicker debido al compensador. Se ensaya aquí una forma de estimación de la mejoría introducida por el compensador de SIDERCA, en cuanto a la atenuación del flicker. La estimación se basa en los datos obtenidos de las mediciones de los años 1986 y 1988 y de las potencias de cortocircuito de la acería, a potencia de red constante. Por aplicación de la interpretación del método BEC, se encuentra:

$$a_{fg} = 0,48 \% \text{ (1986)} \quad S_f = 123 \text{ MVA (1986)}$$

$$a_{fg} = 0,54 \% \text{ (1988)} \quad S_f = 172 \text{ MVA (1988)}$$

El flicker característico presunto para 1988 sería:

$$a_{fg} (1988) = \frac{S_f (1988)}{S_f (1986)} a_{fg} (1986) = 1,4 \cdot a_{fg} (1986)$$

El factor de mejoría sería:

$$F_A = \frac{a_{fg} (1988)}{a_{fg} (1986)} = \frac{1,4 a_{fg} (1986)}{a_{fg} (1986)} = 1,25$$

Es decir el factor de mejoría introducido en la situación de flicker por efecto del compensador sería de 1,25 veces (equivalente a 1,56 en "dosis" de flicker).

Determinación experimental del efecto de atenuación de flicker del SVC. A los efectos de determinar por mediciones el efecto de compensación de flicker del SVC se realizó una campaña en setiembre 1988. Mediciones directas pueden realizarse midiendo el flicker con el SVC en operación y, luego, sin operación pero aportando la misma potencia reactiva fija. En ambos casos la operación de la acería debe ser la misma. Esta modalidad de medición no pudo ser realizada por cuestiones operativas.

Se utilizó entonces el método de [20], el cual consiste en medir flicker sobre barras y, simultáneamente, sobre una tensión a la que se le descuenta el efecto de la corriente del compensador sobre la impedancia de la red. La implementación particular para el caso se da en la Figura 4, destacándose la realización con componentes activos de la impedancia que simula a la de red.

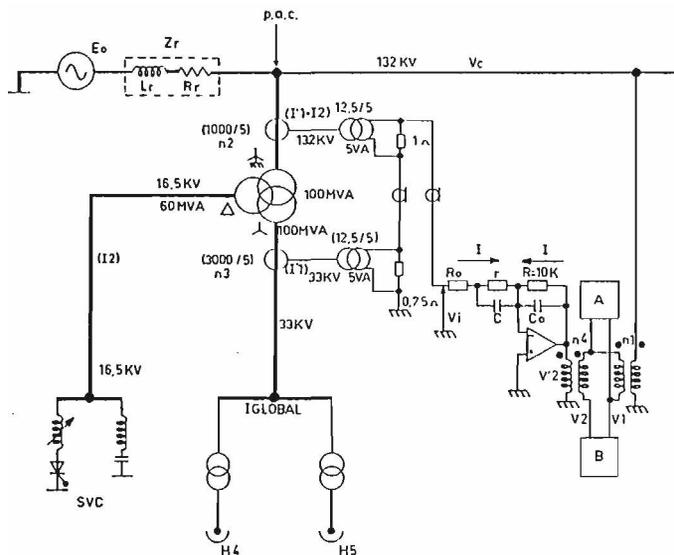


Figura 4 - Diagrama esquemático de la instalación eléctrica de la planta siderúrgica de SIDERCA. Sistema de medición del factor de atenuación del flicker.

El MDP denominado "A" en la Figura 4, midió el flicker existente en la tensión de 132 kV, con el compensador y la carga en operación normal. El MDP denominado "B", midió el flicker ficticio que hubiera habido si el compensador no hubiera estado operando. Ambas mediciones se realizaron en sincronismo.

Se realizaron 7585 mediciones de 1 minuto de duración cada una, totalizando más de 5 días efectivos de registro. Simultáneamente, se realizaron registros oscilográficos de las corrientes de consumo de la acería y del aporte del SVC.

Los resultados condensados se dan en la gráfica de la Figura 5.

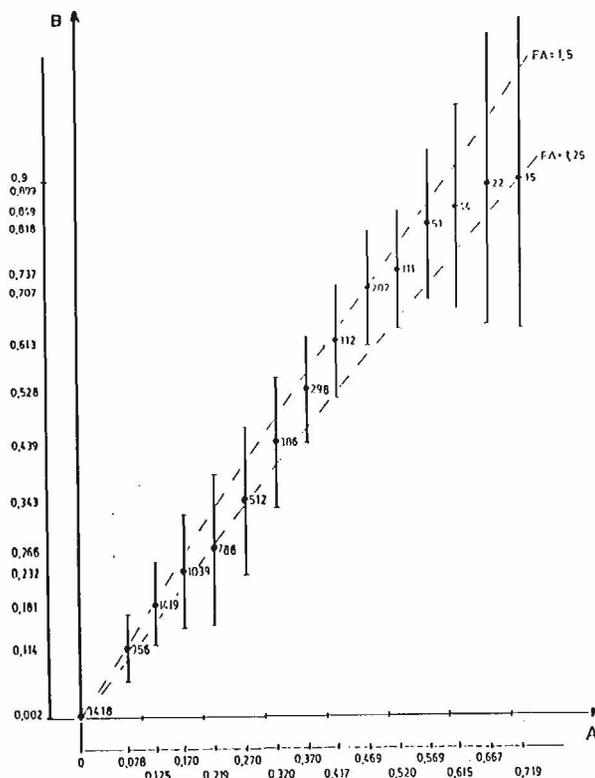


Figura 5 - Curva de regresión del parpadeo presunto sin compensador (A). Corresponde al conjunto completo de pares de muestras A, B.

Corresponde a la representación de B vs. A. La variable A, flicker real, ha sido discretizada por clases. Las líneas verticales indican el conjunto de valores medidos de B, flicker presunto sin SVC, para cada clase. Los números que acompañan a las trazas corresponden a número de mediciones de B para cada clase de A y los puntos el valor medio de B. Las líneas de trazos corresponden a los valores medios extremos de  $F_A = B/A$ . Como se ve el factor de mejoría puede acotarse entre 1,25 y 1,5.

#### Comentarios

- Los resultados encontrados son ligeramente inferiores a los previstos por los estudios de diseño pertinentes realizados por el CESI (Italia), con TNA y el control real del equipo. De todas formas se preveía una no muy buena performance para tan bajas relaciones entre la potencia de cortocircuito de la red y la potencia de horno equivalente.
- De experiencias publicadas [10,15,16] se obtienen factores de compensación del flicker mediante SVC sustancialmente superiores al medido en este caso. Tal como se indica en [14] el factor de mejoría depende de la potencia de cortocircuito de red. El compensador instalado mostró en su puesta en operación un fenómeno de resonancia con la alta impedancia de red. La frecuencia de antirresonancia era de 165 Hz, correspondiente a una interarmónica generada por el proceso de fusión. Como resultado del fenómeno se producía una sobrecarga inadmisibles en los bancos de filtros del equipo. El control original debió ser modificado ("retardado"), lo que presuntamente produjo una desmejora en la atenuación del flicker, lo que explica lo indicado en el primer comentario.

#### 3.- Determinación de la potencia de cortocircuito actual de la red de alimentación a SIDERCA

Se verificó el nivel de potencia de cortocircuito en barras de 132 kV (SEO) de SIDERCA, aportado por el sistema de DEBA.

En la oportunidad, octubre 1987, el SVC no estaba en servicio.

Se realizaron mediciones de tensiones y corrientes trifásicas en el punto de alimentación determinándose de estas medidas la tensión de secuencia directa, la potencia activa y la potencia reactiva. Se utilizó el RAIP [22].

Se realizaron mediciones inmediatamente antes y después de la desconexión del horno 4 de la acería. La brusca desconexión de carga produce variaciones de la tensión de suministro. Correlacionando las variables  $\Delta U$ ,  $\Delta P$  y  $\Delta Q$  es posible hallar la  $Sc$  (potencia de cortocircuito), según la expresión:

$$Sc = \frac{Un}{\Delta U} (\Delta Q + \frac{\Delta P}{10})$$

Dado que la operación del sistema de potencia requerida para la medición no es normal en el proceso de la acería, solo se realizaron 3 determinaciones, cuyos resultados se dan a continuación:

CASO	$\Delta U$ (kV)	$\Delta Q$ (MVAR)	$\Delta P$ (MW)	$Sc$ (MVA)
S <sub>1</sub>	1,69	21,1	41,5	1140
S <sub>2</sub>	2,5	35	45,3	1200
S <sub>3</sub>	2,2	26,1	44,2	1060

$\bar{Sc} = 1130$  MVA  
 $\sigma_n = 60$  MVA  
 $Un = 76,2$  kV

Supuesto  $X_{red} = 10 R_{red}$

#### 4.- Niveles de potencia de cortocircuito requeridas según criterios de admisibilidad del flicker

Válido para los siguientes datos de la situación actual:  $Sc = 1200$  MVA,  $S_f$  equivalente = 172 MVA,  $F_A = 1,25$  (factor de mejoría por el SVC).

\* Alternativa 1. Admitir que el flicker (tal como se mide con el MDP-Modelo 2, minuto a minuto, y con la definición de a [%] utilizada) sea:  $a_{fg} \leq 0,3$  %. Esto significaría admitir que solo durante el 1 % del tiempo se supere el nivel de flicker actualmente utilizado en Argentina como referencia.

Para ello, siendo:  $a_{fg} = 0,54 \dots 0,64$  %. Donde el primer valor corresponde al valor no superado más del 1 % del tiempo para una estadística global de 9 días de medición y el segundo, idem para el caso peor de las estadísticas de 24 horas. Debe ser:

$$Sc \text{ (futura)} = \left( \frac{0,54}{0,3} \dots \frac{0,64}{0,3} \right) \cdot Sc \text{ (actual)}$$

\* Alternativa 2. Utilizar los criterios de recomendaciones nacionales (ENEL, BEC, E. de F.) que relacionan  $Sc$  con  $S_f$ . Los criterios entre sí son similares y pueden resumirse en:  $Sc \geq 50 S_f$ .

Para el caso de Campana y considerando:  $S_f' = \frac{S_f}{1,25} = 138$  MVA

Expresión que tiene en cuenta la disminución de potencia de horno equivalente por efecto del SVC.

La potencia de cortocircuito de red, futura, en el p.a.c. sería:  $Sc \geq 50 S_f' = 6900$  MVA.

#### \* Comentarios

- Mediante una potencia de cortocircuito de 2200 MVA, se obtendría el cumplimiento de un nivel de flicker ( $a_{10,eq}$ ) no superior al 0,3 % RMS durante el 99 % del tiempo, para estadísticas del orden de 1 semana de duración.
- Mediante una potencia de cortocircuito de 2600 MVA, se obtendría el cumplimiento de un nivel de flicker ( $a_{10,eq}$ ) no superior a 0,3 % RMS durante el 99 % del tiempo, para estadísticas de 1 día de duración.
- Mediante una potencia de cortocircuito de 6900 MVA, se obtendría una situación libre de flicker, de acuerdo a los criterios más rigurosos.

#### 5.- Conclusiones

- La metodología de medición de parpadeo (flicker) ya se encuentra acordada internacionalmente. Los criterios de evaluación parecen próximos a contar con acuerdos de igual carácter, a través de la metodología propuesta en [2]. En cambio, las asignaciones de niveles tolerables parece de más difícil resolución ya que deben guardar relación con el grado de desarrollo de los sistemas eléctricos locales
- La situación actual de perturbación por flicker en el nodo motivo del presente trabajo no es aceptable, ni aún para los criterios de tolerabilidad menos rigurosos. Como se ha comprobado, aún métodos de mitigación modernos tienen escasa eficacia frente a redes débiles. Debería aumentarse la potencia de cortocircuito de la red.

#### 6.- Referencias

- [1] P. Meynaud. "Generalisation de la méthode d'estimation de la dose de flicker limite". DER. Electricité de France. Revue Générale de L'Electricité T. 89. N° 7 y 8. Juillet-Aout 1980.
- [2] C. Mirra, G. Sani. "Il fenomeno del flicker. Analisis delle sue caratteristiche. Tecniche di misura e metodi di limitazione". ENEL. Revista L'Elettrotecnica. Vol. LXXIV. N° 8. Agosto 1987.
- [3] IEC 868. "Flickermeter. Functional and Design Specifications". International Electrotechnical Commission. 1986
- [4] IEC 555-3. "Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment. Part. 3: Voltage fluctuations". International Electrotechnical Commission. 1982.
- [5] Engineering Recommendation P. 7/2. "Supply to arc furnaces". British Electricity Council. 1970.
- [6] A.C.E. Report N° 26. "Report on supply to arc furnaces". British Electricity Boards. 1970.
- [7] Westinghouse Reference Book. 1964.
- [8] P.G. Kendall. "El parpadeo lumínico relacionado con la fluctuación de tensión de la red de alimentación". Traducido en Revista Electrotécnica. Marzo-Abril 1966. Art original: Proceeding of the IEE, March 1966. N° 3. Vol. 113.
- [9] René Pélissier. "Réseaux D'énergie Electrique". Tomo I. Université de Paris. 1967.
- [10] T.J.E. Miller. "Reactive Power Control in Electric Systems". Willey, 1982.
- [11] Marius Chanas. "Perturbations de tension affectant le fonctionnement des reseaux: fluctuations brusques, flicker, déséquilibres et harmoniques". DER. E. de F. RGE. Tome 87 N° 12. Décembre 1978.
- [12] G. Bonard. G. Decharte. "Conditions de raccordement d'equipements générateurs de fluctuations rapides de tension". SER. E. de F. Bulletin N° 4. 1982.
- [13] Norme per l'allacciamento dei forni ad arco agli impianti a 132 - 150 kV ed a media tensiones dell'ENEL. Ente Nazionale Energia Elettrica. Italia.

- [14] L. Garbero, G. Santagostino (CESI), L. Lagostena (ENEL), F. Profumo (ANSALDO). "Study of flicker disturbances caused by arc-furnaces by means of digital or analog models". CESI Technical Issue. 84-2.
- [15] J. Bergeal et al (E. de F.), P. Charles et al (Alstom). "A static VAR Compensator on the French Public Network: Reduction of flicker or voltage control at Les Ancizes". CIGRE 36-05. 1986 Session.
- [16] D. Grünberg, W. Reiche. "Reactions des fours a arc sur les reseaux d'alimentation at leur compensation". Revue Brown Boveri 8-86.
- [17] J. Riubrugent. "Medición del efecto de parpadeo (flicker) ocasionado por fluctuaciones de la tensión". IITREE. Revista Electrotécnica Oct/Dic. 1977.
- [18] P. Issouribehere, J. Agüero. "Desarrollo y construcción de un medidor de parpadeo". IITREE. Revista Electrotécnica. Oct/Dic. 1977.
- [19] CIGRE. Working Group 36-05 (Disturbing Loads). "Report on the results of the international questionnaire concerning voltage disturbances". Electra N° 99. Marzo 1985.
- [20] A. Seki, J. Nishidai, K. Murotani. "Suppression of flicker due to arc furnaces by a thyristor-controlled VAR compensator". Paper A78.590-2 IEEE Summer Meeting, Los Angeles, USA, July 1978.
- [21] P. Issouribehere, A. Rifaldi. "Experiencias respecto a cargas perturbadoras de los integrantes del GT 36-05 de CIGRE-Argentina". 2° ERLAC. Puerto Iguazú. Argentina. Junio 1987.
- [22] J. Agüero, P. Issouribehere, D. Esteban. "Sistema para registro y análisis de sistemas de potencia - RAIP" 2° ERLAC. Puerto Iguazú. Argentina. Junio 1987.