

EXPERIENCIAS EN EL CONTROL DE ARMÓNICAS Y 'FLICKER' EN SERVICIOS ELÉCTRICOS PÚBLICOS.

Pedro E. ISSOURIBEHERE, Gustavo A. BARBERA
IITREE-LAT. UNLP (*)
Argentina

Jorge MARTÍNEZ, Alejandro GALINSKI
ENRE (**)
Argentina

RESUMEN

Las experiencias abarcan los servicios de distribución del área metropolitana de Buenos Aires, con aproximadamente 5 millones de usuarios.

Los servicios los prestan tres empresas privadas (A, B y C), cada una en una región diferente, en cuyos contratos de concesión el estado ha fijado condiciones de Calidad de Servicio. El control es realizado por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE). El IITREE de la UNLP colabora en estudios básicos, el seguimiento y análisis de las perturbaciones.

Los parámetros principales de calidad controlados son las interrupciones, el nivel de tensión y las perturbaciones. Entre estas últimas se presta especial atención a las armónicas y al flicker.

El procedimiento de control se realiza en dos niveles. Por un lado se miden magnitudes representativas, distorsión total y 'pseudo-flicker', a través de una campaña que abarca un número importante de zonas de la red (campaña 1) y, por otro, se efectúan mediciones normalizadas IEC en aquellos puntos que, por los niveles detectados, lo justifiquen (campaña 2).

Se explica la normativa vigente en Argentina, las modalidades de ejecución del control efectuado y los resultados obtenidos en los dos primeros años de evaluación del grado de contaminación de las redes por estos tipos de perturbaciones.

PALABRAS CLAVE

Perturbación - Armónica - Flicker - Medición - Estadística.

1. INTRODUCCION.

Se describirán las campañas de medición de armónicas y flicker en las tres empresas distribuidoras de energía eléctrica del área metropolitana, A, B y C. Estas campañas se encuentran detalladas en [1].

Se realizará un análisis de los resultados de la campaña 1 en la distribuidora A. Luego, para la misma campaña, se compararán los resultados obtenidos en las tres distribuidoras.

Por último se describirán los resultados obtenidos en la campaña 2 sobre las tres distribuidoras.

2. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN.

2.1. Medición de magnitudes representativas de perturbaciones. Campaña 1.

Esta campaña tiene como objetivo monitorear el nivel de perturbaciones en distintos puntos de la red de baja tensión a través de indicadores para armónicas y flicker.

Los equipos utilizados en esta campaña, también llamados de menor prestación, son de bajo costo y miden la Tasa de Distorsión Total (TDT) para ponderar el contenido armónico y el 'pseudo-flicker' para dar un indicio del nivel de flicker.

La TDT se define como:

$$TDT = \sqrt{\sum_{i=2}^{40} \left(\frac{U_i}{U_1} \right)^2}$$

Donde U_i es la amplitud de la tensión armónica de orden i , y U_1 la amplitud de la tensión fundamental.

El 'pseudo-flicker' es una magnitud que se puede considerar, en ciertos casos, cuasi proporcional al índice de severidad del flicker de corta duración, PST.

Con estos parámetros se logran dos objetivos, uno de ellos es hacer un seguimiento de las perturbaciones a lo largo del tiempo y el otro obtener zonas donde la red se encuentre más perturbada para realizar allí la medición normalizada; ambos a bajo costo. Es conveniente citar que por medio de esta campaña las distribuidoras no perciben penalización alguna en lo concerniente a perturbaciones.

La duración de las mediciones es de al menos una semana, utilizándose intervalos de medición de 15 minutos denominados registros.

Los usuarios en los cuales se debe realizar una medición (monofásicos y trifásicos) los selecciona el ente regulador en forma aleatoria teniendo en cuenta la cantidad existente en cada distribuidora y sucursal de la misma, tratando de abarcar toda el área de concesión. Las distribuidoras A y B deben realizar 300 mediciones por mes cada una y la C debe llevar a cabo 70.

(*) IITREE-UNLP. Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos - Laboratorio de Alta Tensión. Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 116. (1900) La Plata. Argentina. Tel/Fax: +54-221-425-0804/483-6640/7017. E-mail: ii-tree@ing.unlp.edu.ar.

(**) ENRE. Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Avda. Madero N° 1020 - Piso 8. (1106) Buenos Aires - Argentina. T.E. +54-11-4314-5638 / 39 / 40 - Fax: +54-111-8314-5584. E-mail: distcom@enre.gov.ar.

2.2. Mediciones normalizadas de perturbaciones. Campaña 2.

Basado en la campaña 1, el ente regulador, elige los sitios donde se deben realizar las mediciones normalizadas. En este caso los puntos de medición son los centros de transformación MT/BT desde donde se alimentan los usuarios con registros más elevados de perturbaciones. Las mediciones se realizan sobre las tres fases.

La duración de las mediciones es de al menos una semana, en intervalos de 10 minutos. En las mediciones de armónicas de debe registrar la TDT y las armónicas hasta la 40, mientras que en las de flicker se debe registrar el PST. Además, en ambos casos, es necesario registrar en forma conjunta la energía trifásica suministrada integrada también cada 10 minutos.

En [1] se encuentran los niveles de referencia para armónicas y flicker. En caso de ser superados por un tiempo mayor al 5% le corresponderá penalización a la distribuidora, teniendo ésta que abonarles a todos los usuarios afectados en determinada medición. El valor de esta penalización está relacionado con el grado en que hayan sido superados los niveles de referencia y con la energía suministrada en estas condiciones. La penalización caduca cuando la distribuidora demuestre, a través de una nueva medición, que ha solucionado el problema.

La cantidad de puntos a medir es 12 de armónicas y 6 de flicker para las distribuidoras A y B, y 6 de armónicas y 3 de flicker para la C.

Los equipos utilizados para esta campaña, también llamados de mayor prestación cumplen con las exigencias de las normas IEC. Se siguen las recomendaciones de las normas IEC 1000-4-7 para armónicas [2] e IEC 868 para flicker [3].

3. RESULTADOS OBTENIDOS.

Se cuenta con mediciones de las tres distribuidoras desde abril de 1997 hasta noviembre de 1998. Del total, le corresponden 7040 a la distribuidora A, 6626 a la B y 1470 a la C.

Dada la forma en que presentan los datos los equipos, registros cada 15 minutos, éstos se pueden analizar de dos maneras conceptualmente distintas. La primera de ellas es crear un lote con la totalidad de registros de 15 minutos existente sin hacer diferencias entre las distintas mediciones. La segunda, en cambio, es trabajar con el lote compuesto por la totalidad de mediciones sin realizar combinación alguna entre registros pertenecientes a distintas mediciones.

3.1. Resultados de la campaña 1 en la distribuidora A.

Se analizarán, a modo de ejemplo, los resultados de la distribuidora A. Dado que ésta cuenta con 7040 mediciones con una duración promedio mayor a una semana el lote de registros de 15 minutos es de aproximadamente 5 millones.

3.1.1. Armónicas (TDT)

En la Figura 1, a manera de introducción, se muestra una medición de la TDT (de ahora en adelante en valores por 100) en un punto particular de la campaña.

El primer análisis realizado se presenta en la Figura 2 y corresponde al histograma y la curva de distribución acumulada de la TDT sobre los 5 millones de registros existentes. El valor medio de la muestra es 2,18 y el P_{95} (valor no superado por el 95% de los registros), 4,1. Este nivel es del orden de la mitad del valor de la TDT admisible, que es 8 en BT [1].

Menos del 0,1% de los registros superan el valor de $TDT=8$. [Este porcentaje no es totalmente representativo de la cantidad de sitios en los cuales habría violación por armónicas, dado que en ciertas ocasiones se da que la que supera el valor permitido es una armónica en particular (no registradas en esta campaña) y no la TDT].

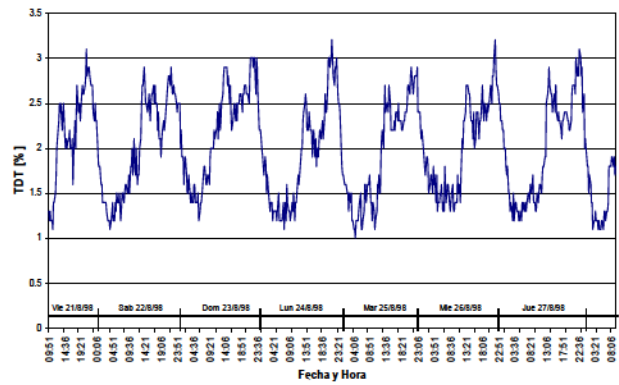


Figura 1. Perfil de la TDT en una medición particular de la campaña 1 en la distribuidora A.

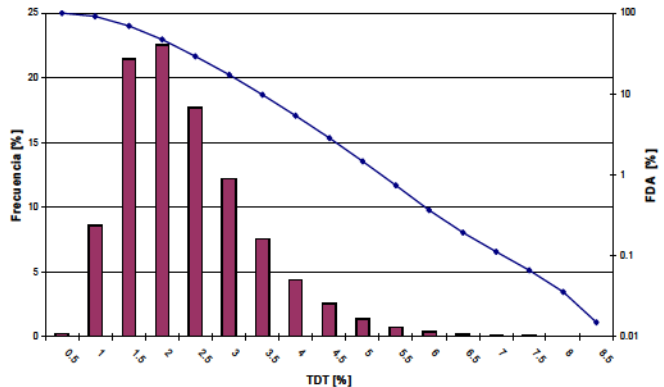


Figura 2. Histograma y distribución acumulada de la TDT tomando la totalidad de registros de 15 minutos. Distribuidora A.

En las Figuras 3 y 4 se muestran gráficas similares a la anterior pero siguiendo el segundo concepto antes descrito, es decir, tomando individualmente las 7040 mediciones. Para la Figura 3 cada medición se representa por el promedio de todos sus registros, resultando el valor medio 2,18 y el P_{95} , 3,4. Ninguna medición supera el valor de $TDT=8$.

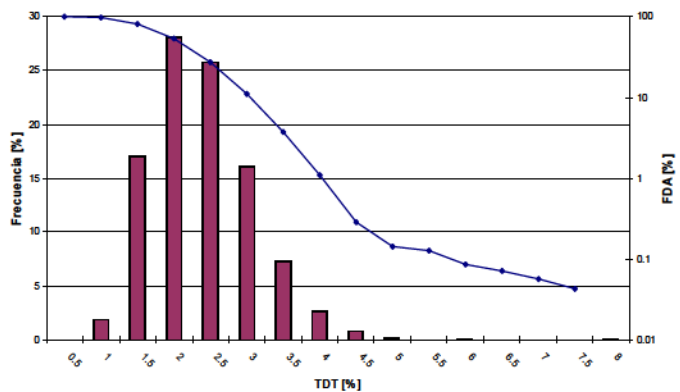


Figura 3. Histograma y distribución acumulada de la TDT tomando el valor medio de cada medición - conjunto de registros de una semana - individualmente. Distribuidora A.

En la Figura 4, en cambio, cada medición es representada por el P_{95} de sus registros, resultando el valor medio 3,28 y el P_{95} , 5,4. El 0,13% de las mediciones supera la TDT permitida.

El próximo objetivo propuesto en el presente estudio es trazar un perfil de la TDT a lo largo del día. Para ello se tomó la totalidad de registros y se los agrupó por hora, conformándose 24 subgrupos de 5 millones/24 registros. Luego para cada subgrupo se calculó el promedio y el P_{95} , y se obtuvieron las gráficas mostradas en la Figura 5.

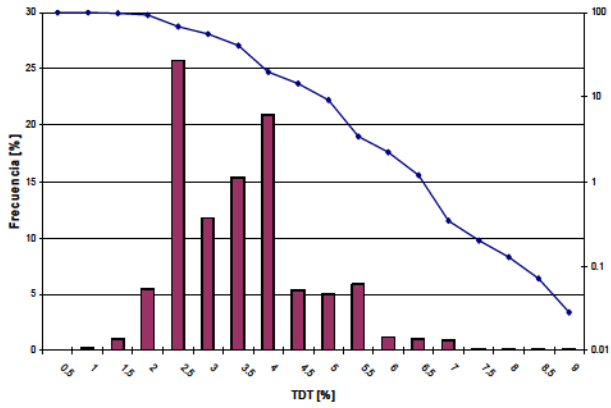


Figura 4. Histograma y distribución acumulada de la TDT tomando el P₉₅ de cada medición - conjunto de registros de una semana - individualmente. Distribuidora A.

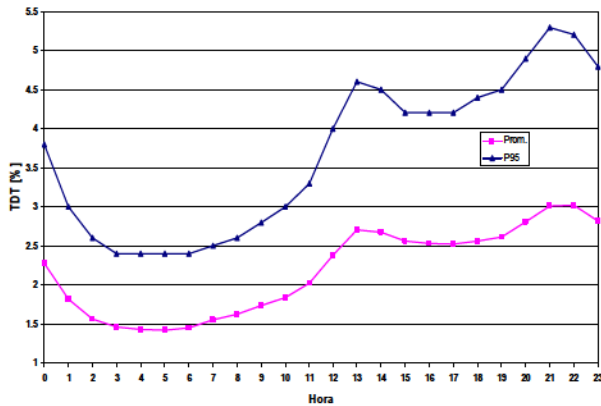


Figura 5. Perfil de la TDT a lo largo del día. Distribuidora A.

Al observar estas gráficas se nota que hay una importante variación de la TDT a lo largo del día, y que está directamente relacionada con la de una curva de carga típica. Esto es, los valores más pequeños de la TDT se presentan en horas de la madrugada y los más altos se dividen en dos picos, uno menor en horas del mediodía y otro más elevado en horas de la noche.

A partir de la Figura 5 se puede obtener otro importante resultado. Al observar dicha figura se nota una considerable correlación entre las gráficas del promedio y del valor P₉₅ de la TDT. En la Figura 6 se presenta en el eje x el valor promedio y en el y el P₉₅ para cada hora, de donde se puede extraer un *factor de correlación* de 1,67.

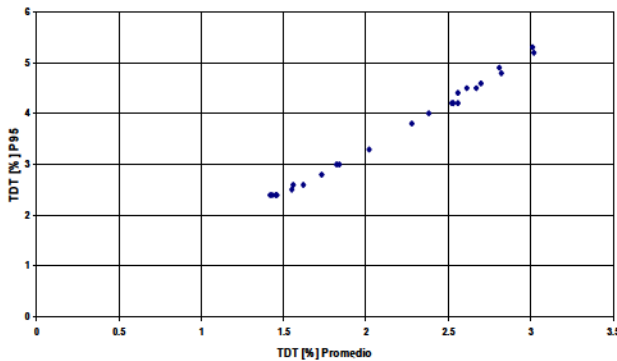


Figura 6. Correlación entre el promedio y el valor P₉₅ de la TDT a lo largo del día. Distribuidora A.

Como conclusión de lo anterior se podría decir que este factor permitiría una simplificación de los procedimientos de medición y procesamiento de la información, dado que con

conocer el promedio de la TDT, sería posible estimar el valor P₉₅.

Otro análisis llevado a cabo fue examinar la variación de la TDT a lo largo del año, para lo cual se agrupó la totalidad de registros de 15 minutos por mes. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7, en la cual se utilizaron nuevamente los criterios de promedio y P₉₅ dentro de cada mes. Como se puede notar no se da una variación muy determinística a lo largo del año, pudiéndose considerar valores apenas más bajos en época de verano.

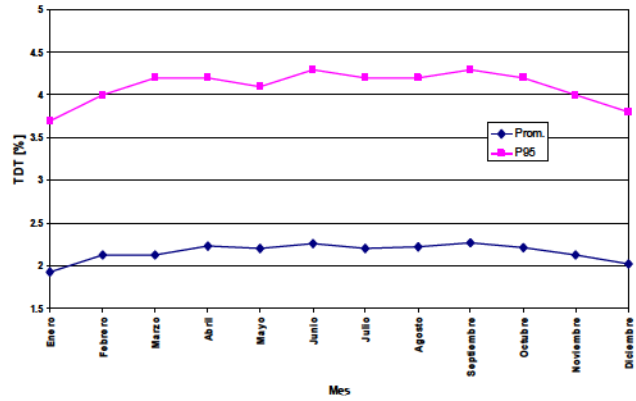


Figura 7. Perfil de la TDT a lo largo del año. Distribuidora A.

3.1.2. Flicker

El instrumento utilizado por la distribuidora A para la medición de flicker entrega una serie de valores que pueden considerarse, en cierta zona del rango de medición, proporcionales al PST. Éstos son números enteros y en la mayoría de los casos prácticos se presentan entre 0 y 7, lo que hace que el equipo carezca de una buena resolución.

A efectos de correlacionar los valores medidos por estos equipos de baja prestación con el PST, se realizó un ensayo generando un flicker sinusoidal de 8,8 Hz y comparando los resultados obtenidos en un instrumento bajo norma IEC con lo entregado por el utilizado en la campaña. Con ello se logró una equivalencia entre el PST y el flicker medido por el equipo. Por medio de esta equivalencia todos los gráficos de flicker aquí expuestos se presentarán en escala de PST.

La metodología empleada para el análisis de los resultados de flicker será totalmente análoga a la utilizada en armónicas. La única salvedad a tener en cuenta es que, por la escasa resolución que posee el equipo, los valores P₉₅ calculados son sólo indicativos.

En la Figura 8 aparece una medición de flicker en un punto particular de la campaña.

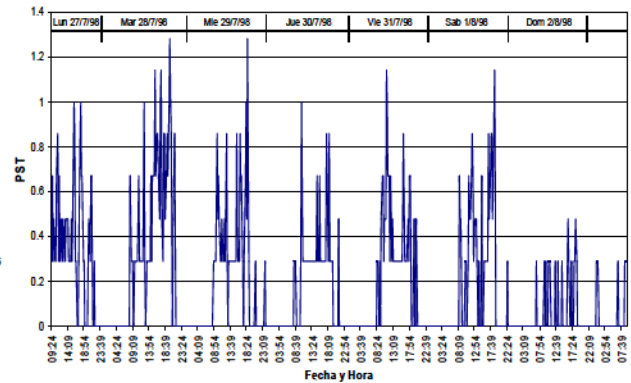


Figura 8. Perfil del PST en una medición particular de la campaña 1 en la distribuidora A.

El próximo paso será mostrar el histograma y la curva de distribución acumulada sobre la totalidad de registros de 15 minutos. Esto se presenta en la Figura 9, donde el valor medio es 0,2 y el P₉₅ 0,7. El 2,2% de los registros supera el PST=1, que es el valor máximo admisible para este parámetro en BT [1].

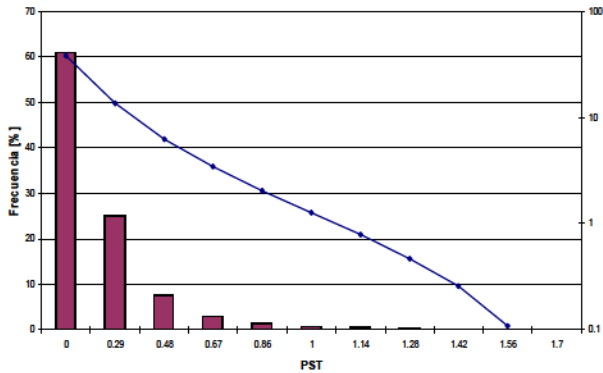


Figura 9. Histograma y distribución acumulada del PST tomando la totalidad de registros de 15 minutos. Distribuidora A.

En las Figuras 10 y 11 se muestran unas gráficas similares a la anterior pero tomando individualmente cada una de las 7040 mediciones. En la Figura 10 se representa cada medición por el promedio de todos sus registros siendo el valor medio 0,2 y el P₉₅, 0,55. Superan el PST=1 el 0,6% de las mediciones.

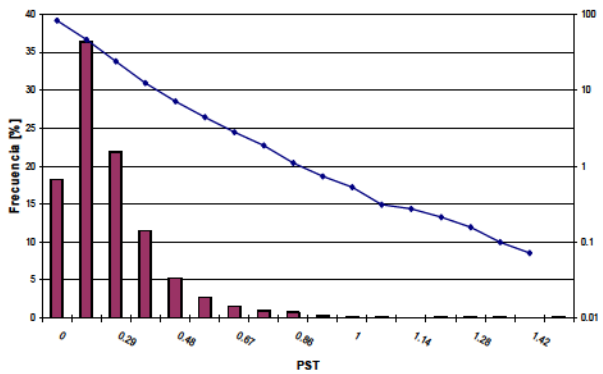


Figura 10. Histograma y distribución acumulada del PST tomando el valor medio de cada medición - conjunto de registros de una semana - individualmente. Distribuidora A.

En la Figura 11 cada medición es representada por el P₉₅ de todos sus registros, siendo ahora el valor medio 0,5 y el P₉₅ 1,2. El 10% supera el valor de PST=1.

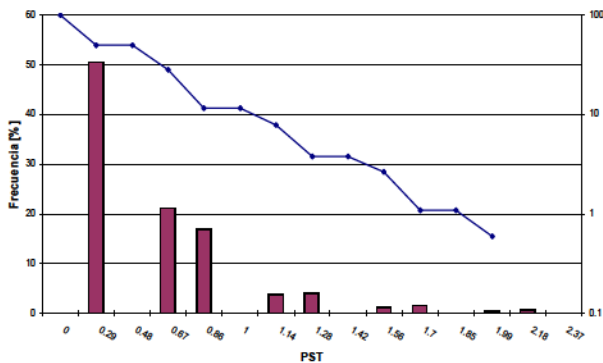


Figura 11. Histograma y distribución acumulada del PST tomando el P₉₅ de cada medición - conjunto de registros de una semana - individualmente. Distribuidora A.

Tal como se hizo para armónicas, en la Figura 12 se representa el flicker a lo largo de un día tipo teniendo en cuenta el promedio y el P₉₅ de los registros existentes en una hora.

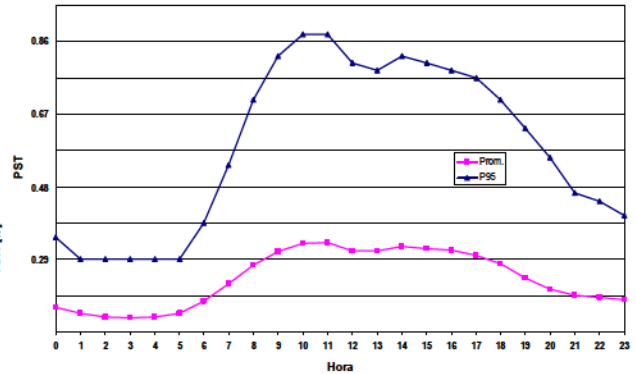


Figura 12. Perfil del PST a lo largo del día. Distribuidora A.

Se nota que los valores más altos de flicker se dan entre las 6 y las 20 horas aproximadamente, quedando los más bajos para el resto del día.

En la Figura 13 se hace un análisis semejante pero a lo largo del año notando, como en la TDT, poca vinculación entre el PST y la época del año.

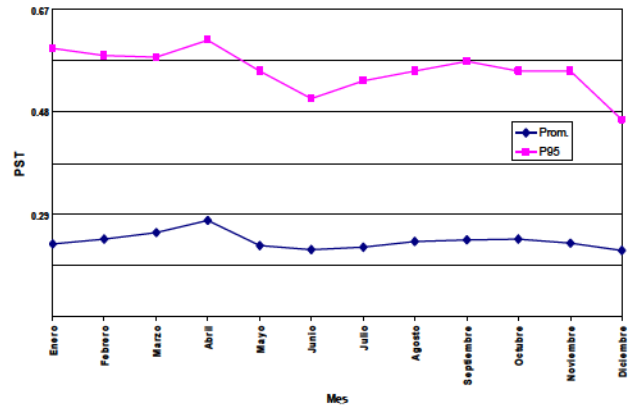


Figura 13. Perfil del PST a lo largo del año. Distribuidora A.

3.2. Comparación de resultados campaña 1. Distribuidoras A, B y C.

Se procederá ahora a hacer un análisis comparativo de las mediciones realizadas en las tres distribuidoras.

Como se mencionó anteriormente el estudio se llevó a cabo con un lote de 7040 mediciones (5 millones de registros) de la distribuidora A, 6626 mediciones (4 millones y medio de registros) de la B y 1470 mediciones (un millón de registros) de la C.

Al observar las gráficas de esta sección se notarán ciertos apartamientos en la distribuidora B. Es necesario aclarar que esta distribuidora utiliza un equipo de medición distinto al empleado por las otras dos, por lo que para un análisis exhaustivo de los resultados presentados a continuación debiera contemplarse esta circunstancia.

En la Figura 14 aparecen las distribuciones (se han reemplazado las barras por líneas suavizadas para facilitar la visualización) de la TDT sobre el total de los registros en las tres distribuidoras.

En la Figura 15 se muestra una gráfica similar pero tomando cada medición individualmente y representada a través de su promedio.

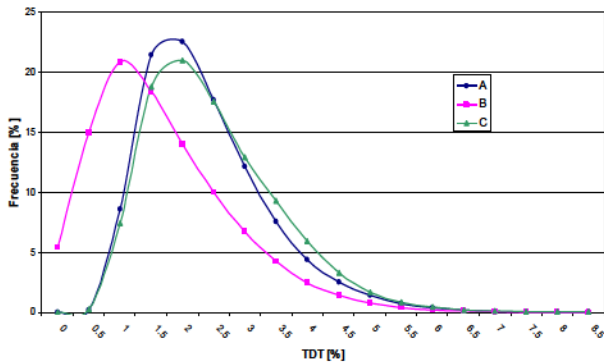


Figura 14. Distribuciones de la TDT sobre el total de registros en las tres distribuidoras.

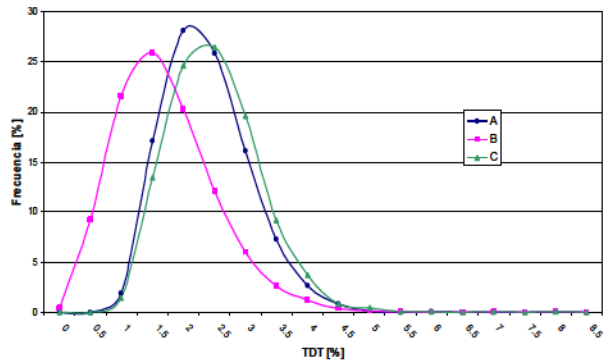


Figura 15. Distribuciones de la TDT tomando el valor promedio de cada medición en las tres distribuidoras.

Analizando los datos con esta modalidad se observa que el comportamiento tiene mayor semejanza a una distribución normal.

En la Figura 16 se muestran los perfiles de la TDT a lo largo del día, notando una misma tendencia en las tres distribuidoras. Para la realización de las gráficas se tomó el valor P₉₅ de todos los registros pertenecientes a una hora determinada.

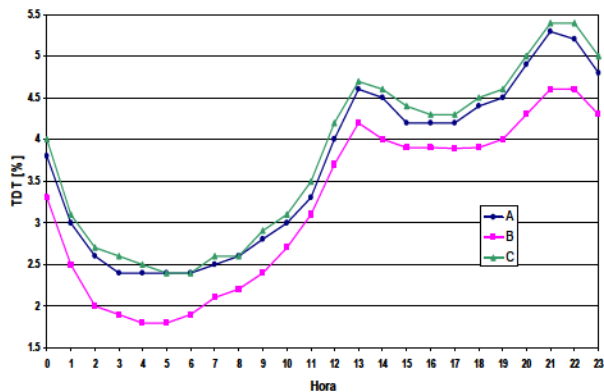


Figura 16. Perfiles de la TDT a lo largo del día en las tres distribuidoras.

Realizando un análisis totalmente análogo al empleado en armónicas, en la Figura 17 se representan las distribuciones del PST sobre la totalidad de registros en las tres distribuidoras.

En la Figura 18 aparece el mismo análisis pero representado cada medición por su promedio.

Para culminar con el estudio realizado sobre la campaña 1, en la Figura 19 se muestra una comparación de los perfiles del PST a lo largo del día en las distribuidoras A y C. Las gráficas se obtuvieron a partir de calcular el P₉₅ de todos los registros de cada hora.

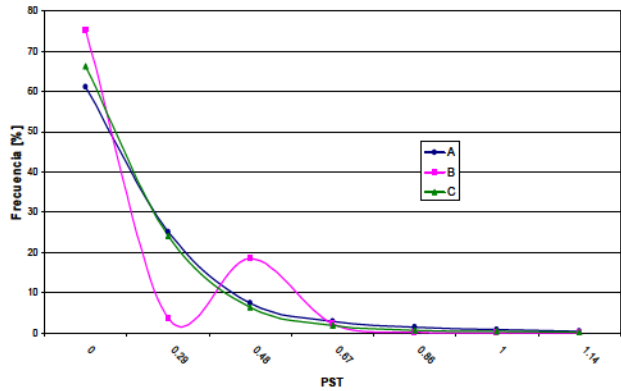


Figura 17. Distribuciones del PST sobre el total de registros en las tres distribuidoras.

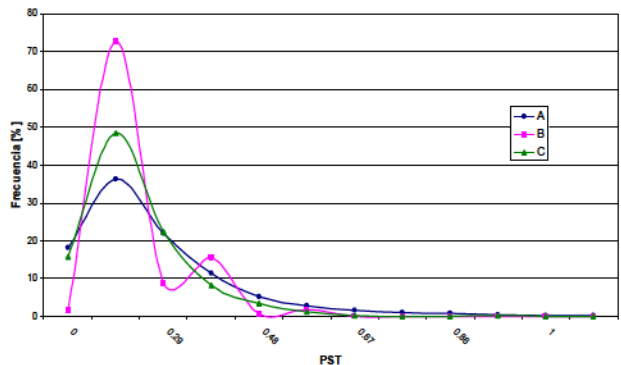


Figura 18. Distribuciones del PST tomando el valor promedio de cada medición en las tres distribuidoras.

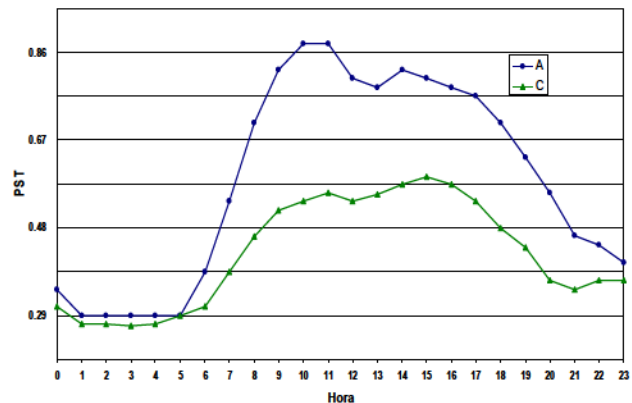


Figura 19. Perfiles del PST a lo largo del día en las distribuidoras A y C.

3.3. Experiencias en mediciones normalizadas. Campaña 2.

Desde abril de 1997 hasta octubre de 1998 se han auditado 473 mediciones normalizadas (un tercio del total) en toda el área metropolitana. El detalle es el siguiente:

	Armónicas	Flicker
Distribuidora A	91	66
Distribuidora B	111	54
Distribuidora C	96	55

Para reconocer si una medición resulta penalizada se emplea el criterio de violación trifásica, con el que si en un registro de 10 minutos determinado se produce una violación en una sola de las fases se cuenta al registro como transgresor.

Para que una medición sea penalizada, más del 5% de sus registros deben superar los niveles permitidos.

El resumen de mediciones penalizadas es el siguiente:

	Armónicas	Flicker
Distribuidora A	2	2
Distribuidora B	5	2
Distribuidora C	3	1

Muchos de los centros de transformación en los cuales resultaron mediciones penalizadas alimentaban a usuarios con cargas perturbadoras como rectificadores en centrales telefónicas y trenes eléctricos, hornos, trenes de laminación, etc.

En algunos de estos casos las distribuidoras han mitigado el inconveniente y lo demostraron a través de una nueva medición.

4. CONCLUSIONES.

Los niveles límites de armónicas y flicker actualmente regulados en la Argentina tienen un muy alto grado de cumplimiento en el área metropolitana de Buenos Aires.

Se observa un mayor grado de cumplimiento en armónicas que en flicker, sin embargo para elaborar conclusiones definitivas debería considerarse el grado de cumplimiento de las armónicas individuales.

Se observan valores representativos de la TDT y el PST del mismo orden en las tres distribuidoras.

El perfil de la TDT a lo largo del día se asemeja a la curva de carga de usuarios residenciales, lo que indica una fuerte contribución de los usuarios de este tipo al fenómeno global.

Los valores más altos de PST se presentan en horas del día por lo que se atribuye a los consumos comerciales e industriales un rol preponderante en este tipo de perturbación.

No se nota una gran vinculación entre los valores de perturbaciones y la época del año.

La comparación de los resultados de las campañas anuales de monitoreo permitirán conocer la evolución temporal - tendencia - de los fenómenos.

Las campañas de monitoreo cumplen con su cometido de localizar zonas con perturbaciones importantes que luego se miden con equipamiento normalizado, eficientizando la actividad.

5. REFERENCIAS.

- [1] Anexo a la Resolución ENRE 465/96. Base metodológica para el control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2.
- [2] IEC 1000-4-7. Part 4: Testing and measurement techniques. Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentations, for power supply system and equipment connected thereto.
- [3] IEC 868. Flickermeter. Functional and design specifications.