

CINCO AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO SUMINISTRADO POR EMPRESAS PRIVADAS EN BUENOS AIRES

Pedro Issouribehere

Gustavo. Barbera

IITREE. Universidad Nacional de La Plata

Calle 48 y 116. (1900). La Plata
Argentina

(54221) 483-6640

E-mail: iitree@volta.ing.unlp.edu.ar

Jorge Martínez

Ente Nacional Regulador de la
Electricidad

Av. Madero 1020. Buenos Aires.
Argentina

(5411) 314-5640

E-mail: distrcom@enre.gov.ar

Claudio Guidi

Jorge García

Hagler Bailly S.A

Cerrito 866 Piso 6. Buenos
Aires. Argentina

(5411) 4813 9898

E-mail: cg@hbix.com.ar

Abstract: Este documento refleja los principales avances en materia de control de la Calidad del Servicio suministrado por las empresas Distribuidoras que abastecen a la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores involucrando aproximadamente a 5 millones de usuarios. Particularmente se han tratado aspectos referidos al Producto Técnico (nivel de tensión y perturbaciones) y al Servicio Técnico (frecuencia y duración de las interrupciones). Los controles se iniciaron en 1993 a través de indicadores globales de desempeño de las empresas, para pasar a partir de 1996 a un control de indicadores individuales por usuario. Como consecuencia de los controles y penalidades aplicadas las empresas han mejorado el nivel de la calidad del servicio suministrado evidenciándose una clara respuesta de las mismas a las señales económicas aplicadas, debiendo realizar inversiones en instalaciones y en herramientas de gestión que le permitieron tomar conocimiento del estado de situación y adoptar las medidas correctivas necesarias.

Keywords: Calidad de Servicio, Metodología de Control, Interrupciones, Nivel de Tensión, Perturbaciones

PRODUCTO TECNICO. NIVEL DE TENSION

Desde 1992, con la privatización de las primeras tres empresas distribuidoras prestatarias del servicio eléctrico en el área del Gran Buenos Aires a más de cinco millones de usuarios, el Ente Nacional Regulador de la Electricidad ha efectuado controles en el Producto Técnico suministrado por las empresas, encontrándose a cargo de estas últimas el desarrollo de las campañas de medición. Las mediciones consisten en un registro de 7 días de duración de los valores eficaces de tensión integrados en periodos de 15 minutos. Hasta el año 1996 solo se efectuaron controles del nivel de tensión, habiéndose efectuado más de 22.000 mediciones a nivel de usuario y en bornes de los centros de transformación MT/BT. Los apartamientos a los límites admisibles fueron sancionados, en función a su magnitud, por la

Autoridad Reguladora con penalidades económicas que retornaron a los usuarios afectados como una bonificación en su facturación por total de MUS\$ 1.7 que sirvió como señal económica para las empresas a dar solución a los inconvenientes existentes. A partir de Setiembre de 1996 comenzó una nueva etapa de control, orientada a medir la calidad del servicio suministrado a nivel de cada usuario, extendiéndose el control también a las perturbaciones. A partir de esa fecha se comenzaron a realizar 670 mediciones mensuales exclusivamente a nivel de usuario. Los resultados de los primeros años de registro dentro de la nueva etapa de control evidenciaron una mejora en el nivel de la Calidad del Servicio suministrado, pero no su completa solución. Del análisis realizado se concluyó que las señales económicas enviadas a las empresas a través de las multas aplicadas habían sido adecuadas para dar solución a los inconvenientes más graves, pero no resultaban suficientes para la solución integral del problema, encontrándose en vías de análisis una posible modificación a la normativa actual. Esta experiencia ha sido aprovechada para el desarrollo de normativas de calidad exigibles para otras empresas de la República Argentina privatizadas posteriormente, como así también su consideración en normativas de calidad en otros países como Venezuela, Guatemala y Costa Rica. Aprovechando la gran cantidad de mediciones realizadas se desarrolló una metodología de control de tipo estadístico que discrimina la calidad suministrada en diversas zonas, considerando en forma conjunta la totalidad de los registros de 15 minutos efectuados a lo largo de un año de duración a través de una ventana deslizante cada seis meses, agrupándolos según sea su frecuencia de ocurrencia por unidad porcentual de apartamiento del valor nominal de tensión. En esta forma cada zona queda caracterizada por una curva de frecuencia de ocurrencia, cuyas características indican la bondad de la calidad suministrada en esa zona, y en función a la misma se ha desarrollado un mecanismo sancionatorio para las empresas que asegure el envío de señales adecuadas que permitan dar solución a los problemas mencionados anteriormente. Las fórmulas utilizadas han sido las siguientes:

$$FEB_B = \frac{Nrg_B}{Nrg_{TOT}} \quad FEB_{PEN} = \sum_{B=BP} FEB_B$$

$$FEEC_B = \frac{Eng_B}{Eng_{TOT}} \quad FEEP_B = \frac{FEEC_B}{\sum_{B=BP} FEEC_B}$$

$$FEPU = \left[\sum_{B=BP} FEEP_B \cdot Coef_B \cdot FEB_B \right]$$

$$SANCION = ETF \cdot FEPU$$

Donde :

- B** : Banda de Tensión
- BP** : Banda de Tensión Penalizada
- Nrg_B** : Cantidad de Registros asociada a la Banda "B"
- Nrg_{TOT}** : Cantidad Total de Registros
- Eng_B** : Energía Registrada asociada con la Banda de tensión "B"
- Eng_{TOT}** : Energía Total Registrada
- FEB_B** : Frecuencia Equivalente asociada a la Banda "B".
- FEB_{PEN}** : Frecuencia Equivalente por Banda de Tensión Penalizada "BP"
- FEEC_B** : Frecuencia equivalente por Energía Registrada por Banda de Tensión "B"
- FEEP_B** : Frecuencia equivalente por Energía Penalizada por Banda de Tensión Penalizada "BP"
- FEPU** : Frecuencia equivalente de Penalización Unitaria
- Coef_B** : Coeficiente de penalización, relacionado con la Banda de Tensión "B"
- ETF** : Energía Total Facturada por la distribuidora en el período controlado

Si al cabo del periodo controlado la sumatoria del **FEB_B** para las bandas de tensión penalizadas (**FEB_{PEN}**) es mayor al 3% la Distribuidora será sancionada de acuerdo con las ecuaciones descriptas anteriormente.

A efectos de comprobar que la metodología desarrollada permitía cumplir con los objetivos propuestos se efectuó una simulación de su funcionamiento con la información disponible de 12.000 mediciones de una semana en cada una de las Zonas que componen las empresas controladas a partir de 1996 .

Los resultados obtenidos permitieron confirmar el logro de los objetivos buscados en el sentido de posibilitar la identificación de las zonas con inconvenientes y el envío de las señales económicas adecuadas que incentiven a las empresas para su solución.

Los montos de sanciones en miles de u\$s resultantes de aplicar esta metodología para una de las empresas en tres zonas típicas se resumen en la siguiente tabla

Zona	Semestre 1		Semestre 2	
	FEB _{PEN}	Sanción	FEB _{PEN}	Sanción
1	0,9%	0	1,0%	0
2	2,9%	0	3,2%	115
3	8,9%	575	8,2%	403

En las Figuras 1 y 2 se muestran las curvas de frecuencia de ocurrencia obtenidas para una de las empresas en tres zonas típicas para dos semestres diferentes. Pudiéndose comprobar un similar comportamiento de cada zona para los dos periodos considerados. La zona 1 representa una zona urbana de alta densidad abastecida a través de una red subterránea; la zona 2 una que tiene un casco urbano y un área suburbana; y la zona 3 una suburbana de baja densidad.

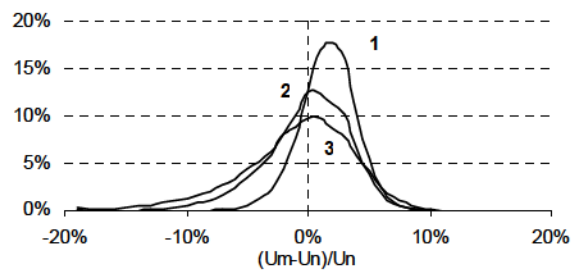


Figura 1

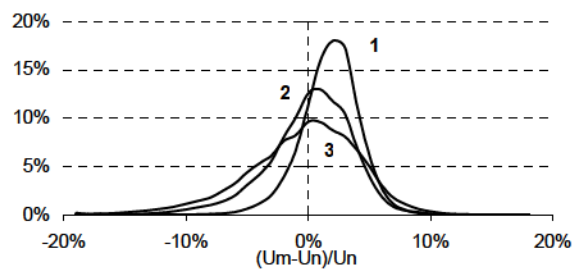


Figura 2

Asimismo para esas mismas zonas se ha identificado la variación de la tensión para un semestre típico a lo largo del día a través del procesamiento de más de 230.000 registros en cada una. Pueden observarse en la Figura 3 los resultados obtenidos y la caracterización de cada una de las zonas.

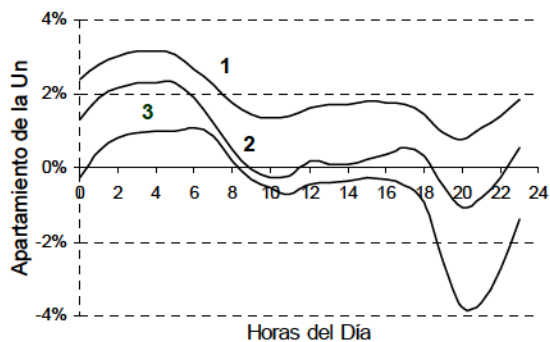


Figura 3

Se ha observado que la curva de variación de tensión horaria se asemeja a la curva de carga invertida de la zona. Esto se ha corroborado también a través de las curvas típicas para distintos días de la semana, representándose en la Figura 4 aquellas representativas para un día hábil, un sábado y un domingo.

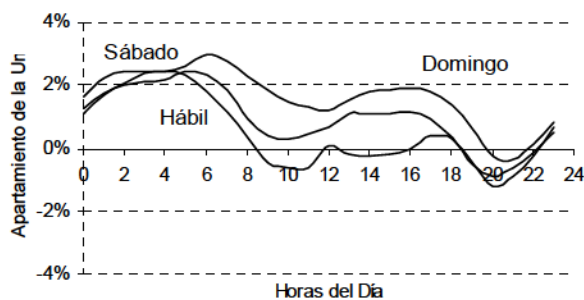


Figura 4

PRODUCTO TECNICO. PERTURBACIONES

Para el caso de las perturbaciones se han efectuado controles a partir de setiembre de 1996 de flicker y armónicas a través de la realización de 30 mediciones mensuales de Armónicas y 15 de Flicker. La elección de los puntos sobre los cuales efectuar las mediciones se realiza mediante un monitoreo previo de la Tasa de Distorsión Total (TDT%) para el caso de armónicas y un indicador que refleja el índice de severidad de corta duración PST (indicadores abreviados). Este monitoreo se realiza conjuntamente con la campaña de medición del nivel de tensión en 670 puntos mensuales, habiéndose previsto para ello la incorporación de módulos de monitoreo muy económicos en los equipos de registro del nivel de tensión. En función a los resultados de las 670 mediciones efectuadas a nivel de usuario, se seleccionan los puntos de registro de las perturbaciones en los centros de transformación

utilizando los procedimientos y equipamiento previstos en las Normas IEC. La duración de las mediciones es de al menos una semana, en intervalos de 10 minutos. En las mediciones de armónicas se registran la TDT y las armónicas hasta la de orden 40, mientras que en las de flicker se debe registrar el PST. Además, en ambos casos, se ha registrado en forma conjunta la energía trifásica suministrada integrada también cada 10 minutos. En la Res. 465/96 del ENRE están establecidos los niveles de referencia tanto para armónicas como para flicker. En caso de ser superados por un tiempo mayor al 5 % le corresponde una penalización a la distribuidora, teniendo ésta que pagarles a todos los usuarios afectados. 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 finaliza cuando la distribuidora demuestra, a través de una nueva medición, que ha solucionado el problema. A continuación se realiza un análisis de los datos obtenidos a partir de la campaña de monitoreo previa para una de las empresas, disponiéndose de un total de 1470 mediciones. Dado que la duración promedio de las mediciones es algo superior a una semana y que en cada una se realiza un registro cada 15 minutos, el número de registros con que se cuenta es superior al millón por lo que resulta apto un análisis del tipo estadístico. La información comentada posibilita el análisis de los datos de dos formas conceptualmente distintas. La primera de ellas es crear un lote con la totalidad de los registros sin hacer diferencias entre las distintas mediciones. La segunda, en cambio, es trabajar con el lote compuesto por las 1470 mediciones sin realizar combinación alguna entre registros pertenecientes a distintas mediciones. En la Figura 5, 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.

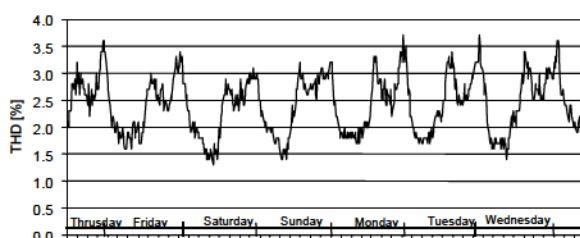


Figura 5

Se comenzará el análisis realizando el histograma y la curva de distribución acumulada de la TDT sobre la totalidad de registros de 15 minutos existentes. Estas gráficas se muestran en la Figura 6.

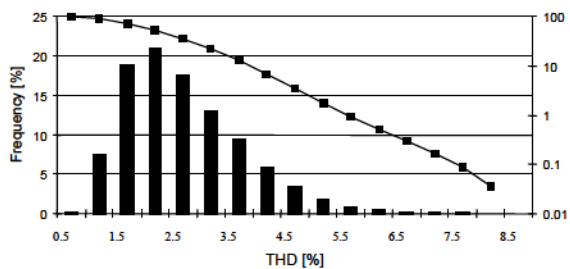


Figura 6

El valor medio del millón de registros es 2,31 y el P_{95} (valor no superado por el 95% de los registros) 4,31, del orden de la mitad del valor de la TDT admisible, que es 8 en BT.

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 ocurre que la que supera el valor permitido es una armónica en particular (no registradas en esta campaña) y no la TDT]. En las Figuras 7 y 8 se muestran unas gráficas similares a la anterior pero considerando individualmente cada una de las 1470 mediciones. En la Figura 7 cada medición es representada por el promedio de todos sus registros, considerando el conjunto de registros de una semana como el valor medio de cada medición, resultando como valor medio del total de mediciones 2,31 y como P_{95} , 3,6. Ninguna medición supera el valor de $TDT=8$.

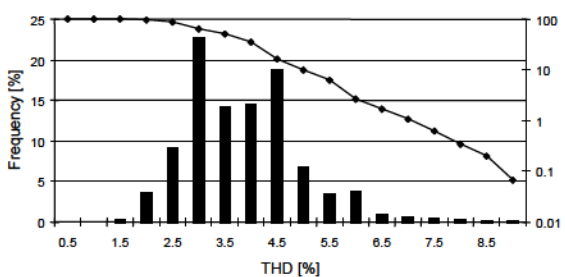


Figura 7

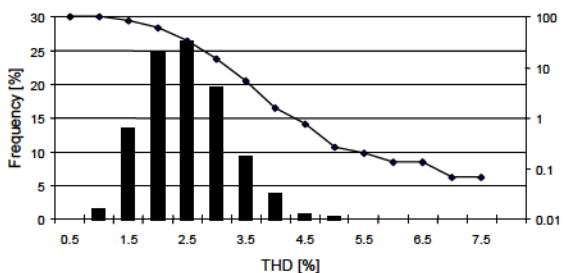


Figura 8

En la Figura 8, en cambio, cada medición es representada por el P_{95} del total de sus registros, dando como valor medio 3,67 y como P_{95} , 5,6. El 0,32% de las mediciones supera el valor de $TDT=8$.

Para el segundo tipo de análisis se procesó la información de manera tal de obtener un perfil de la TDT a lo largo del día. Para esto se tomó la totalidad de los registros y se los agrupó por hora, conformándose 24 subgrupos de aproximadamente un millón/24 registros. El resultado de lo anterior se representa en la Figura 9, donde se observan dos curvas; una de ellas es considerando el valor promedio de los registros en cada subgrupo representativo de una hora determinada y la restante, tomando el valor P_{95} .

Al observar estas gráficas se nota que hay una importante variación de la TDT a lo largo del día, y que estaría directamente relacionada con la carga del sistema. 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.

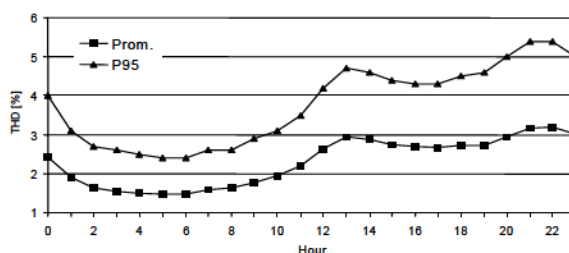


Figura 9

A partir de la Figura 10, se vislumbra una considerable correlación entre las gráficas del promedio y del valor P_{95} de la TDT. En la Figura 10 se presenta en el eje x el promedio y en el y el P_{95} para cada hora, de donde se puede extraer un *factor de correlación* de aproximadamente 1,67. Como conclusión de lo anterior se podría decir que este factor podría permitir una simplificación de los procedimientos de medición y procesamiento de la información, dado que con conocer el promedio de la TDT, se podría estimar el valor P_{95} .

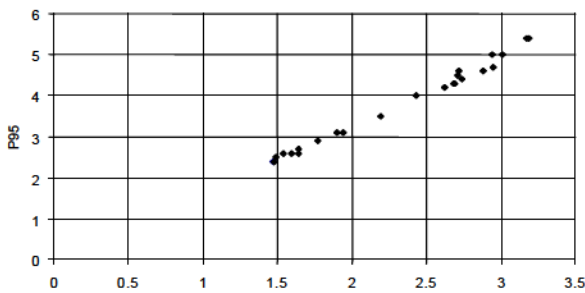


Figura 10

Otro análisis realizado fue observar cómo es el perfil de la TDT a lo largo del año, para lo cual se agrupó la totalidad de registros por mes. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 11, en la cual nuevamente se utilizaron los criterios de valor medio y P_{95} dentro de cada mes. Como puede observarse no existe una variación muy determinística a lo largo del año, pudiéndose considerar valores apenas más elevados en los meses de mayor frío. Para el registro de flicker, se contó con 1025 mediciones, registrándose 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 6, lo que hace que el equipo carezca de una muy buena resolución, pero adecuada para los fines de monitoreo propuestos.

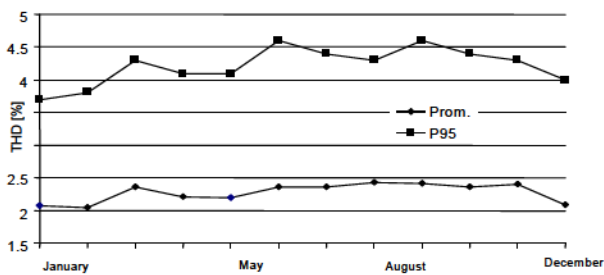


Figura 11

A efectos de correlacionar los valores medidos por estos equipos de baja prestación con valores de PST, se realizó un ensayo generando un flicker sinusoidal de 8,8 Hz y se compararon los valores generados con los del Flicker Medido (FM) a efectos de obtener un factor de conversión.

Para poner de manifiesto lo antes mencionado, en la Figura 12 se muestra una medición de flicker en un

punto particular de la campaña. A manera de comparación la gráfica se presenta con dos ejes de ordenadas, uno en unidades de FM y el restante en PST. La misma representación se realizó en el resto de las figuras.

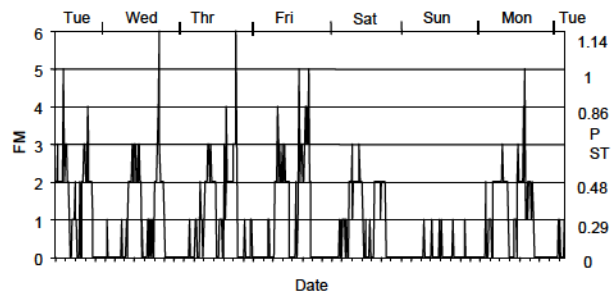


Figura 12

El procedimiento utilizado para el análisis de los resultados de flicker es totalmente análogo al usado en armónicas. La única salvedad a tener en cuenta es que, por la escasa resolución que posee el aparato, los valores P_{95} calculados son sólo indicativos. En la Figura 13 se muestra el histograma y la curva de distribución acumulada del FM en la totalidad de registros. El valor medio de la muestra es 0,52 y el P_{95} , 2. El 0,8% de los registros supera el valor de $FM=5$ que es aproximadamente 1 en escala de PST (valor máximo admisible para este parámetro en BT según la Res. 465/96 del ENRE).

En las Figuras 14 y 15, se muestran unas gráficas similares a la anterior pero considerando individualmente cada una de las 1025 mediciones.

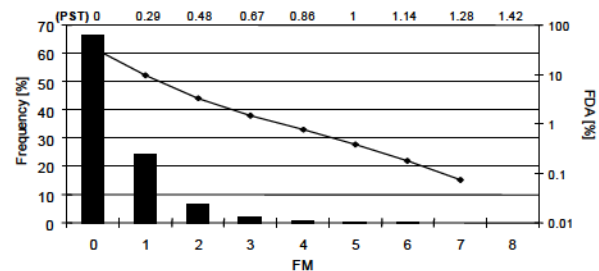


Figura 13

En la Figura 14 se representa cada medición por el promedio de todos sus registros siendo el valor medio 0,52 y el P_{95} , 1,6. El 0,1% de las mediciones supera el valor de $FM=5$. En la Figura 15 cada medición está

representada por el P₉₅ de todos sus registros, resultando el valor medio 1,7 y el P₉₅ 3,9. El 4,4% supera el valor máximo permitido.

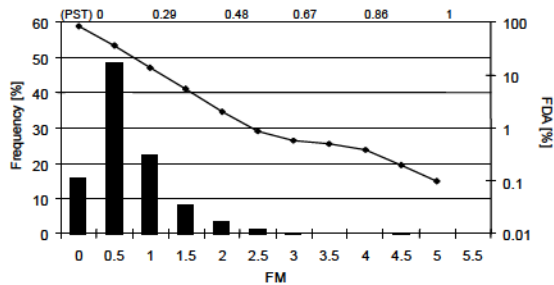


Figura 14

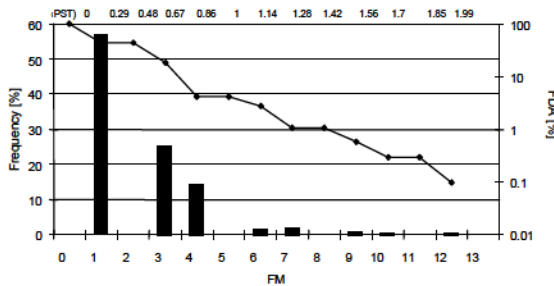


Figura 15

Tal como se hizo para armónicas, en la Figura 16 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. Se nota que los valores de FM más altos se dan entre las 6 y las 20 horas aproximadamente, quedando los más bajos para el resto del día.

En la Figura 17 se hace un análisis semejante pero a lo largo del año notando, como en la TDT, poca vinculación entre el FM y la época del año; sólo se pueden notar valores apenas más bajos en los meses de mayor frío

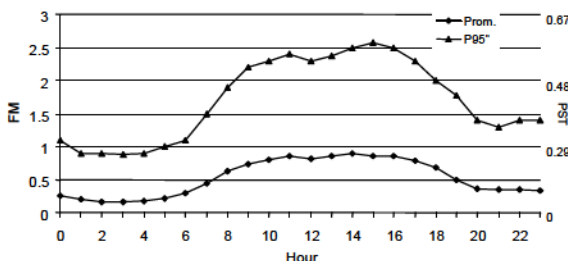


Figura 16

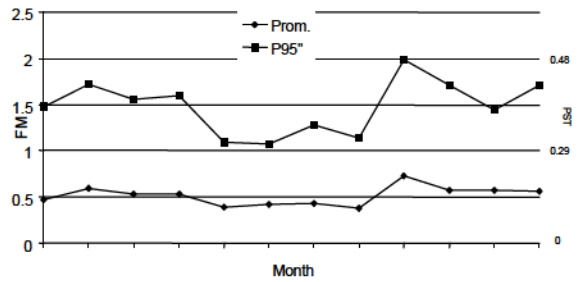


Figura 17

Resultados de similares características se han obtenido a través del procesamiento de la información correspondiente a mediciones de las otras distribuidoras prestatarias en el área metropolitana.

Como conclusión puede mencionarse:

- ✓ Los niveles límites de armónicas y flicker actualmente regulados en la Argentina tienen un muy alto grado de cumplimiento en las redes de BT en el área metropolitana de Buenos Aires.
- ✓ 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 los usuarios residenciales, lo que indicaría una fuerte contribución de éstos al fenómeno global.
- ✓ Los valores más altos de Pst se presentan en horario laborable lo que sugiere un rol preponderante de los consumos comerciales e industriales en este tipo de perturbación.
- ✓ No se observa una gran vinculación entre los valores de perturbaciones y la época del año.
- ✓ La comparación de los resultados de las campañas anuales de supervisión se muestra como propicias para conocer la evolución temporal - tendencia - de los fenómenos.
- ✓ Las campañas de supervisión, a través de indicadores abreviados, han demostrado cumplir con el cometido de localizar zonas con perturbaciones importantes que luego se miden con equipamiento normalizado, eficientizando la actividad.
- ✓ Los resultados de ambas campañas arrojan un mayor grado de cumplimiento de las regulaciones vigentes en armónicas que en flicker.
- ✓ Para ponderar los resultados mostrados del lote de mediciones normalizadas, y si se pretendiera dar a los resultados alguna generalización estadística, debe recordarse que la selección de puntos es sesgada ya que estos se eligen a partir de los

resultados obtenidos en la campaña de medición de magnitudes abreviadas. Con el mismo objetivo, y con un efecto contrapuesto debe recordarse que estas mediciones son efectuadas en centros de transformación donde estos fenómenos no suelen manifestarse con su máxima intensidad.

SERVICIO TECNICO

El servicio Técnico se refiere al nivel y duración de las interrupciones que afectan a los usuarios. A partir de setiembre de 1993 se iniciaron controles de la Calidad suministrada a través de indicadores globales de la Frecuencia Media de Interrupción y del Tiempo Total de Interrupción. Como consecuencia de incumplimientos por parte de las empresa a los límites admisibles se aplicaron sanciones que retornaron al conjunto de usuarios en forma proporcional a la energía consumida por cada uno de ellos por un monto de 13,7 Millones de US\$.

En la Figura 18 y 19, se muestra la evolución del FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por kVA) y del TTIK (Tiempo Medio Total de Interrupción por kVA) para las tres empresas controladas por semestre, evidenciándose una mejoría de los mismos a lo largo del tiempo en respuesta a las señales económicas recibidas a través de las multas aplicadas.

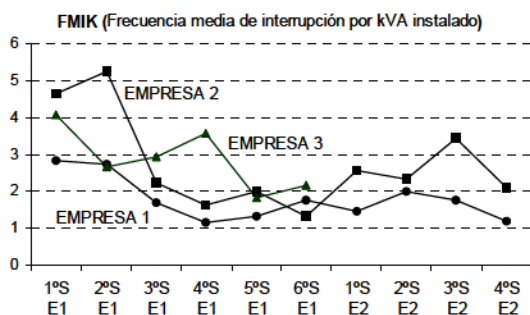


Figura 18

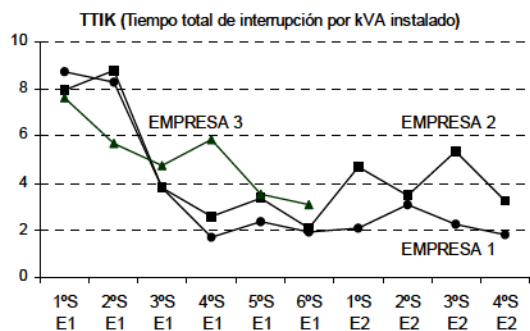


Figura 19

Posteriormente en setiembre de 1996, se inició el control de las interrupciones que afectan a cada uno de los usuarios individualmente. Para ello las empresas distribuidoras debieron efectuar un cuidadoso relevamiento de la vinculación usuario-red, desarrollar complejos sistemas informáticos e incorporar nuevas técnicas de gestión de la red, de forma tal de identificar perfectamente los usuarios afectados ante una interrupción ocurrida en cualquier punto de la red.

Si en el semestre controlado, algún usuario sufriera más cortes (mayores a 3 minutos) que los estipulados, y/o estuviera sin suministro más tiempo que el preestablecido, deberá recibir de parte de la Distribuidora un crédito en sus facturaciones, proporcional a la energía no recibida en el referido semestre. Los límites de interrupciones admisibles son los siguientes:

Tipo de Usuario	Frecuencia por Semestre	Duración por Interrupción
Alta Tensión	3	2
Media Tensión	4	3
Baja Tensión / ≥ 50 kW	6	6
Baja Tensión / < 50 kW	6	10

La energía no suministrada, se calcula como sigue:

$$ENS(kWh) = \frac{\sum EA \cdot Ki}{525.600}$$

\sum : Sumatoria de los "i" minutos en que el usuario no tuvo servicio por encima de los límites establecidos.

EA : Total de energía facturada al usuario en los últimos doce meses

Ki: Factor representativo de las curvas de carga de cada categoría tarifaria.

Finalmente la energía no suministrada, es valorizada según la categoría tarifaria de cada usuario variando dicho valor entre 1,40 US\$/kWh a 2,71 US\$/kWh. Como resultado de la aplicación de esta metodología puede estimarse, para el primer semestre de control, que el monto total a bonificar a los usuarios rondaría los 2 Millones de US\$ para una de las empresas Distribuidoras controladas. De analizar la información resultante durante esta Etapa se observa que la Calidad de Servicio vista por los usuarios resulta muy diferentes entre distintas Zonas de una misma Distribuidora. De lo cual se observa las limitaciones y distorsiones en la

señal económica que hubiera representado mantener el control solamente a través de indicadores del tipo global para toda la empresa. Como ejemplo se muestra en la Figura 20, el porcentaje de usuarios afectados respecto del número de interrupciones para tres zonas de una Distribuidora. En donde el porcentaje de usuarios está referido en por unidad al total de usuarios de cada zona analizada permitiendo así la comparación entre ellas.

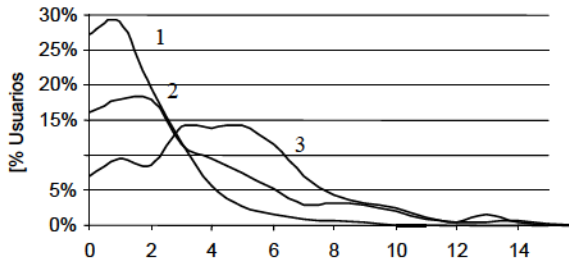


Figura 20

Si se analiza solamente el universo de usuarios a ser bonificados (se excluyen aquellos usuarios cuya calidad se encuentra dentro de los límites admisibles) por las Distribuidoras debido a la inadecuada Calidad de Servicio suministrada, se observa que los montos a bonificar se distribuyen en forma proporcional a los niveles de exigencia fijados para cada usuario y a la energía anual facturada. En la siguiente tabla se muestra como se distribuyen los usuarios afectados y los montos a bonificar para las Pequeñas Demandas (PD), las Medianas Demandas (MD) y las Grandes Demandas (GD) en una Distribuidora.

	% Usuarios	% Bonificación	\$/Usuario
PD	98.7 %	23 %	3
MD	0.9 %	5 %	75
GD-BT	0.2 %	6%	500
GD-MT	0.2 %	67 %	5.500

Asimismo, un análisis de los usuarios afectados respecto del total y de la energía consumida por estos se indica en la Figura 21. También se ha representado la estimación de la Energía No Suministrada en relación con la consumida por los usuarios afectados.

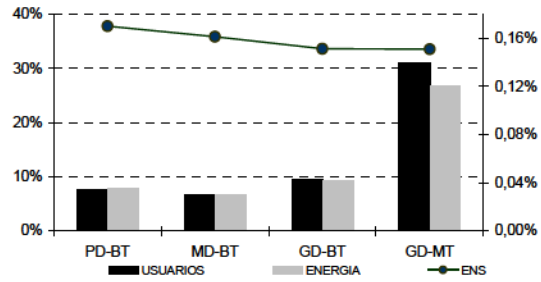


Figura 21

Considerando todas las interrupciones mayores a tres minutos ocurridas en el primer semestre de control se han calculado los siguientes indicadores de gestión: SAIFI (Frecuencia Media de interrupción en el Sistema) y CAIDI (Duración media de Interrupción por Usuario), para las dos Distribuidoras con el mayor número de usuarios del Gran Buenos Aires. En la Figura 22 se muestran los valores obtenidos:

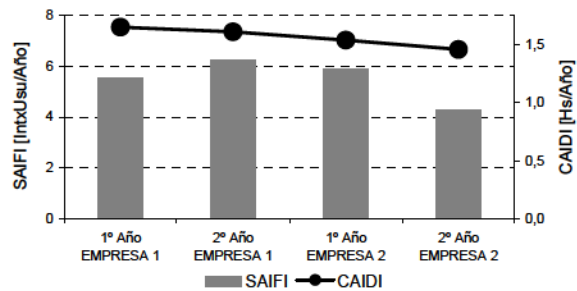


Figura 22

Del análisis se puede observar que el CAIDI se encuentra dentro de los estándares internacionales mientras que el SAIFI resulta significativamente más elevado.

Bibliografía

- Ley Nacional N° 24065
- Contratos de Concesión de las empresas Distribuidoras
- Resoluciones ENRE N° 465/96