# ANALISIS DESCRIPTIVO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES EN FUNCION DE LA NORMATIVA VIGENTE DE CALIDAD DE SERVICIO

**Gustavo Kazlauskas ( M.Cs) Miriam Cocconi (M.Cs)**
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro de la Pcia. Bs. As
Av. Del Valle 5737 –B7400JWI Olavarría
ARGENTINA
gkazlaus@fio.unicen.edu.ar, mcocconi@fio.unicen.edu.ar
Área temática: Aplicaciones de la Matemática

PALABRAS CLAVES:
Datos eléctricos. Indicadores estadísticos. Índice de distorsión.

Resumen*:* En este trabajo se presenta una forma de procesar los datos obtenidos de las mediciones, los que muchas veces resultan aleatorios y no pueden representarse mediante simples indicadores estadísticos. Sin embargo, se presentan alternativas de tratamiento para poder determinar valores medios, desviaciones, coeficientes de variación, histogramas y cálculo de probabilidades en donde se discuten y analizan la utilización de las mismas.También se presenta un análisis de la determinación de probabilidades de superar los máximos establecidos en las normativas vigentes.

## 1. INTRODUCCION

La estadística es una herramienta indispensable para la toma de decisiones y es ampliamente empleada para mostrar los aspectos cuantitativos de una situación. Está relacionada con el estudio de un proceso y se aplica con la finalidad de obtener conclusiones para tomar decisiones razonables de acuerdo con tales observaciones. Pueden hacerse predicciones a partir de la aplicación exclusiva de razonamientos probabilísticos a conjuntos de datos objetivos como son, los de naturaleza eléctrica.

En los últimos años varios eventos centralizados principalmente en varios tipos de carga, han causado sobre el sistema eléctrico un deterioro en la calidad de la potencia. Estas cargas llamadas no lineales, han degradado la forma de onda tanto en corriente como en tensión, las que se alejan cada vez más de las condiciones ideales.

En los sistemas de distribución industrial y en los urbanos de energía, se presentan frecuentemente variaciones de carga durante las jornadas laborales. Estas modificaciones, producen variaciones en la corriente consumida y por consiguiente en la forma de la curva de demanda tal como se muestra en la Fig.1.

Este fenómeno también se traduce en variaciones, en algunos casos, del índice de distorsión con fuertes modificaciones en cada instante y con mayor frecuencia cuando se utilizan largos períodos de medición. Esta idea puede resultar difícil, cuando en un sistema se observan fuertes variaciones en el consumo de la carga e inclusive se registran modificaciones sustanciales en el índice THDi [1] lo que imposibilita determinar un único indicador que sea representativo y que se mantenga constate a lo largo del tiempo.

## 2. DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES.

Para las mediciones de las variables eléctricas del sistema se utilizó un analizador de armónicos Fluke 41-B. Se obtuvieron en forma de tablas todas las variables eléctricas deseadas. Sobre las barras de la entrada general del consumidor en 380V, el instrumento registra los datos durante todo el día lo que permite realizar un seguimiento de la manera en que evolucionan las variables eléctricas más representativas del sistema. Este proceso, puede resultar el más adecuado para evaluar el comportamiento de las variables eléctricas con el fin de de determinar la posibilidad de superar los límites establecidos por la normativa vigente [2].

La fig. 1 muestra las variaciones de carga que se producen por la conexión aleatoria de diferentes consumos en el sistema eléctrico los que pertenecen a [3].

Estos cambios en la potencia conectada, se traducen en variaciones en la corriente (parte b) del sistema las que se reflejan en una disminución de la regulación de tensión en la barra principal. Para este caso en el sistema urbano se presentan también dos actividades diferenciadas, es decir, períodos con altas cargas entre las 6:00 y las 21:00 hs aproximadamente y períodos de baja carga durante el resto del día.

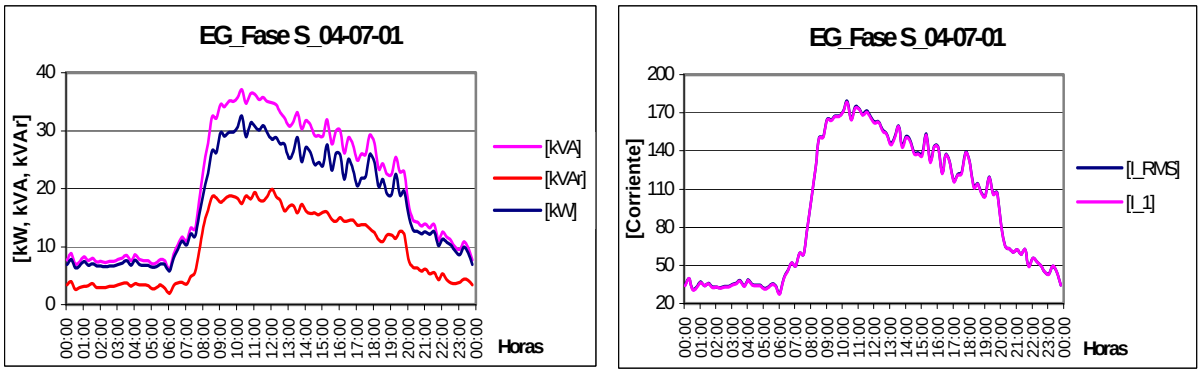
Estas modificaciones en las condiciones de las cargas hacen que varíen los índices de contaminación armónica dependiendo de las cargas no lineales conectadas al sistema.

## 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las variaciones de la carga, típicas en los sistemas industriales, producen modificaciones en las componentes armónicas en cada instante de tiempo los que son registrados en la fig. 2 para un día de medición.

La fig. 2 muestra el conjunto de datos obtenidos a partir de las mediciones de THDi en la barra principal de un sistema eléctrico el que se encuentra conectado a un sistema urbano de energía. En la primera de ellas,

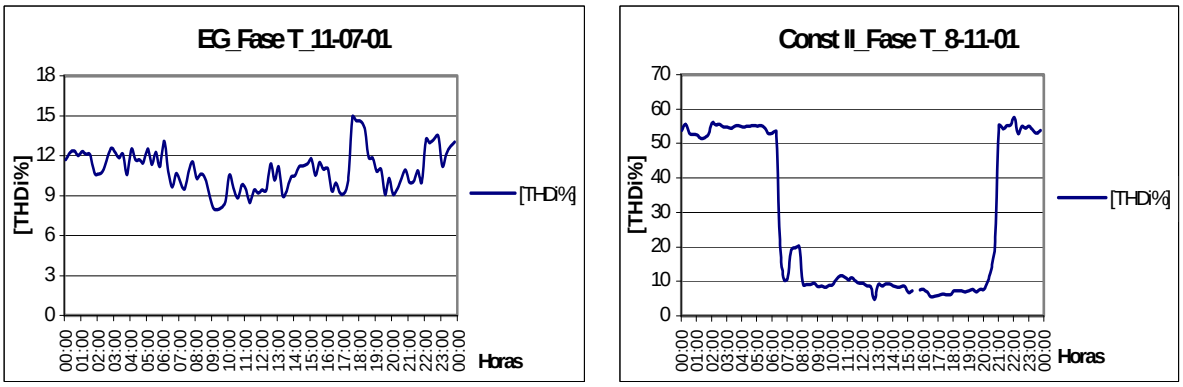
parte (a), se muestran variaciones de este índice de carácter puramente aleatorio del que se desprende una tendencia con leves modificaciones del índice de distorsión.




(a) Medición de potencia activa, reactiva y aparente. (b) Medición de corriente fundamental y armónica.

**Fig. 1** Reportes de mediciones en terreno de potencia y corriente en la barra principal del sistema.

En la parte (b) se representa un conjunto de mediciones con una fuerte componente determinística. En ésta, es importante destacar la fuerte variación de la variable para las horas de baja carga.




**(a)** Ejemplo A **(b)** Ejemplo B

**Fig. 2** Datos con componente aleatoria y componente aleatoria y determinística.

En presencia de una distribución, como las presentadas, existe el deseo espontáneo de simplificación; en la cual se busca reemplazar la complejidad y multitud de anotaciones por una característica única. La característica más accesible desde este punto de vista, es la central. No hay que perder de vista que el reemplazo de datos numerosos por una sola notación, realiza una aproximación que se traduce prácticamente por la pérdida de una cierta cantidad de información en el conocimiento de la serie estadística.

Por ello, si se establece calcular los valores máximos y mínimos como los valores límites superiores e inferiores del lote de datos *n*; y además el valor promedio y desviación estándar mediante las expresiones (1) y (2) [4, 5], entonces se puede representar el conjunto de datos mediante los indicadores simples mostrados en la Tabla I. La desviación estándar brinda información sobre como tienden a distribuirse los datos alrededor de un valor medio, el cual es un indicador de calidad.

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \tag{1}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2}{n-1}} \tag{2}$$

$$Cv = \frac{\sigma_x}{\overline{x}} \tag{3}$$

**Tabla I** Indicadores estadísticos para ejemplo A y B.

| Ejemplo | X | $X_{min}$ | $X_{max}$ | $\overline{X}$ | $\sigma_x$ | CV |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | THDi [%] | 7.93 | 14.90 | 10.95 | 1.49 | 13.6% |
| B | THDi [%] | 4.80 | 57.53 | 27.40 | 22.28 | 81.31% |

De acuerdo a la Tabla I se puede determinar que el valor medio de THDi que representa al conjunto de datos de la fig. 2 (a) es de 10.95% con una desviación estándar de 1.49 %. Teniendo en cuenta el Coeficiente de variación de 13.6 %, se puede decir que dicho promedio es representativo del conjunto de datos pertenecientes a las mediciones. Sin embargo, para el lote de datos de parte (b), el valor medio hallado es de THDi es de 27.4 %, y el Coeficiente de variación resulta ser de 81.31 %. Este elevado valor indica que el valor medio no representa de modo adecuado a las mediciones en este tipo de curva. Este es un típico ejemplo de señales con fuerte componente determinístico, donde es visible, a partir de la fig. 2 (b) una importante variación de la carga entre las siete y las veinte horas.

El procesamiento de datos de las variables registradas, es importante para determinar en forma rápida la posibilidad de superar los valores máximos establecidos en las normativas de calidad de servicio [2]. Por ello, es interesante determinar en forma "*segura*" si un conjunto de mediciones puede superar en algún instante los valores prohibitivos los que pueden establecerse mediante la determinación de la probabilidad de ocurrencia.

3.1. *Determinación de la probabilidad de ocurrencia.*

Los valores de $\overline{\mathbf{X}}$ y $\sigma_x$ en la mayoría de los casos son representativos de un conjunto de datos, y es posible pensar que dichos valores se distribuyen alrededor del valor medio de acuerdo a una distribución normal, a parir de esto es posible calcular la probabilidad de ocurrencia mediante la expresión (4).

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} exp\left( \frac{-\left(X - \overline{X}\right)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \qquad (4)$$

La exactitud del tratamiento de los datos mediante la ecuación (4) para determinar la probabilidad de ocurrencia depende de la componente aleatoria de la señal. Si la señal es completamente aleatoria, entonces la suposición de que tiene una distribución normal alrededor de su valor medio, es acertada; entonces es posible calcular la probabilidad a partir de la ecuación (4). Sin embargo, si los indicadores estadísticos son derivados de una señal con un fuerte contenido determinístico, es de esperar que los datos se alejen significativamente de una distribución normal. En estos casos para determinar la probabilidad de ocurrencia deben realizarse algunos procedimientos adicionales los que serán explicados más adelante.

3.2. *Histogramas o Función Densidad de Probabilidades.*

Para determinar en forma segura que los datos de una medición son de carácter puramente aleatorios, una forma acertada es graficar la frecuencia de ocurrencia. Este tipo de gráficos también llamados histogramas [4], muestran las porciones del conjunto total de mediciones que caen dentro de determinados intervalos.

Si estos intervalos se hacen cada vez mas pequeños y el área total cubierta se hace igual a la unidad, entonces el histograma pasa a constituir la función de densidad de probabilidades (*pdf*) [6, 7]. Las figs. 3 y 4 muestran la función densidad de probabilidades para los datos correspondientes a la fig. 2 parte (a) y (b) respectivamente.

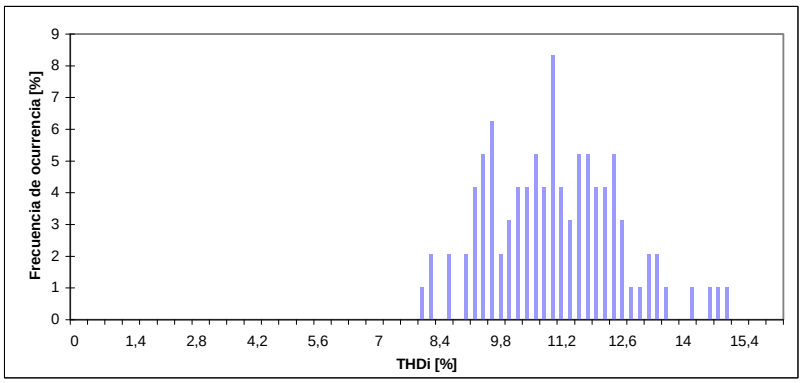



**Fig. 3**. Función densidad de probabilidades aplicada a la Fig.2 (a).

A los datos de la fig. 2 parte (a) le corresponde una distribución aproximadamente normal tal como se muestra en la fig. 3, ya que la señal posee únicamente componentes aleatorias. Y para la los datos representados en la parte (b), se puede observar que contiene múltiples picos tal como se representa en la fig. 4, razón por la cual no puede ser tratada en términos de una distribución normal.

Si bien los histogramas representan los datos de forma sencilla y proveen más información que los indicadores estadísticos, estos no proporcionan información sobre la hora en que ocurren los eventos. En consecuencia, la utilización de este tipo de gráficos para representar la distribución de los datos hace que se pierda la escala de tiempo.

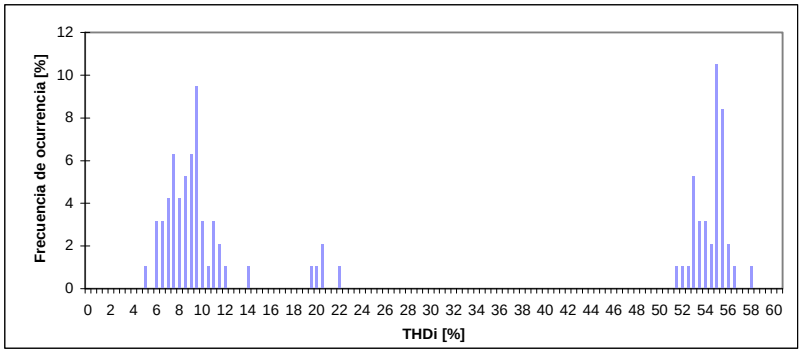



**Fig. 4.** Función densidad de probabilidades aplicada a la fig. 2 (b).

*3.3. Función de Distribución de Probabilidades.*

Una función de distribución de probabilidades $P_x$ (x) representa la misma información que la función densidad de probabilidades $p_x$ (x) (definido en 3.2), pero en diferente forma.

$P_x$ (x) brinda información sobre todos los intervalos de tiempo en que la variable excede un determinado nivel. Matemáticamente, una función de distribución representa la integral de una función de densidad. Esta función puede utilizarse también para expresar la probabilidad de que una variable X observada sea mayor que un determinado valor *x*.

$$Px(X > x) = 1 - P_x(x) = 1 - \int_{-\infty}^{x} px(\tau) \cdot d\tau \qquad (5)$$

En la fig. 5 se muestra la curva correspondiente a la función distribución de probabilidades para los datos de la fig. 2(a).

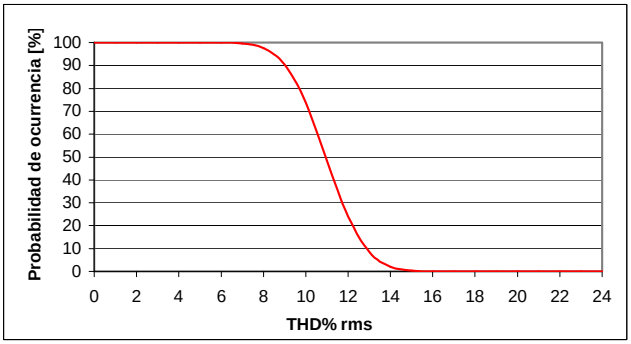



**Fig. 5.** Función distribución de probabilidades aplicada a la fig.2 (a).

De la figura 5 puede determinarse la probabilidad de encontrar valores de THDi mayores a ciertos valores, por ejemplo superiores al 7 % la que tiene una probabilidad de ocurrencia del 100 %, como así también determinar que la probabilidad de tener un THDi mayor a 14 % es de 0 %. Así, es posible determinar los límites máximos y mínimos que pueden presentarse en el THD de la corriente de carga para el sistema de distribución industrial o urbano de energía. Entonces, es posible asegurar que para este lote de mediciones es "*seguro*" que el THDi no supere el valor máximo establecido en la normativa de calidad de servicio que establece un máximo de 20%.

Como restricción de aplicación de esta idea, es decir la función de distribución de probabilidades, no permite el uso en las distribuciones que distan de la forma de campana de Gauss. Para ello, se proponen algunas formas de tratamiento de datos con el fin de poder representarlos del mismo modo.

## 4. PROCEDIMIENTOS ADICIONALES.

Tal como se mencionó en el punto anterior, cuando la distribución de los datos de las mediciones no se ajusta a una distribución normal no puede calcularse la probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, si se realizan tratamientos adicionales al lote de datos se puede conseguir una distribución adecuada la que permite, ahora sí, determinar la probabilidad de ocurrencia. Se proponen aplicar dos técnicas las que se describen a continuación.

*4.1. Método estadístico para subintervalos de tiempo.*

Una manera de simplificar el análisis cuando se debe aplicar la función distribución de probabilidades o histogramas para múltiples picos, como los mostrados en la fig. 4, y asegurar una mejor representación de los indicadores estadísticos, es tratar el conjunto total de datos como diferentes subintervalos en donde cada uno de ellos comprendan a los mencionados picos de la distribución normal.

De este modo, es posible aplicar los indicadores estadísticos en forma individual a cada uno de los subintervalos determinados. Esto puede realizarse ya que al tratarlos por separado, en cada subconjunto se considera que los datos se distribuyen normalmente con respecto a un valor medio. Por ejemplo, en la fig. 4 se

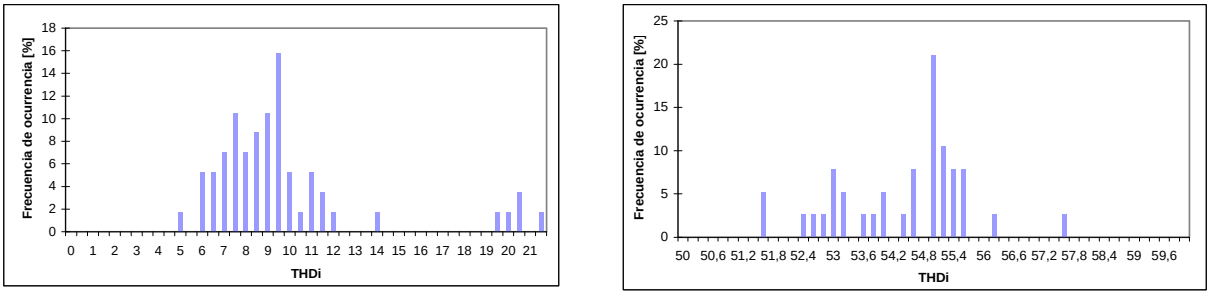
pueden ver dos picos de frecuencia bien diferenciados. Por lo tanto con ayuda de la figura 2 (b) es posible establecer dos subintervalos, uno para los datos comprendidos entre las 6:00 y las 21:00 hs ( llamado subintervalo I ) y otro que abarque el resto de las mediciones, o sea, las comprendidas entre las 21:00 y las 6:00 hs ( llamado Subintervalo II ). Para cada uno de los subintervalos se determinan los valores correspondientes a los mínimos, máximos, medios y desviaciones estándar que se representan en la Tabla II.

**Tabla II.** Indicadores estadísticos para cada subintervalo del ejemplo B Fig. 2

| Subintervalo | X | $X_{min}$ | $X_{max}$ | $X_{medio}$ | $\sigma_x$ | CV |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | THDi [%] | 4.80 | 21.57 | 9.467 | 3.74 | 39.53% |
| II | THDi [%] | 51.46 | 57.53 | 54.30 | 1.30 | 2.39% |

A partir de la Tabla II se puede observar que el valor medio para los datos del subintervalo I es de 9.46 % con una desviación estándar de 3.74 %, siendo su coeficiente de variación de 39.53 % y para los datos del subintervalo II el valor medio de THDi es de 54.3 % con una desviación de 1.3 %, con un coeficiente de variación de 2.39 %. La calidad de la desviación indica que los datos se distribuyen alrededor de su valor medio y tienen una representación normalmente distribuida.

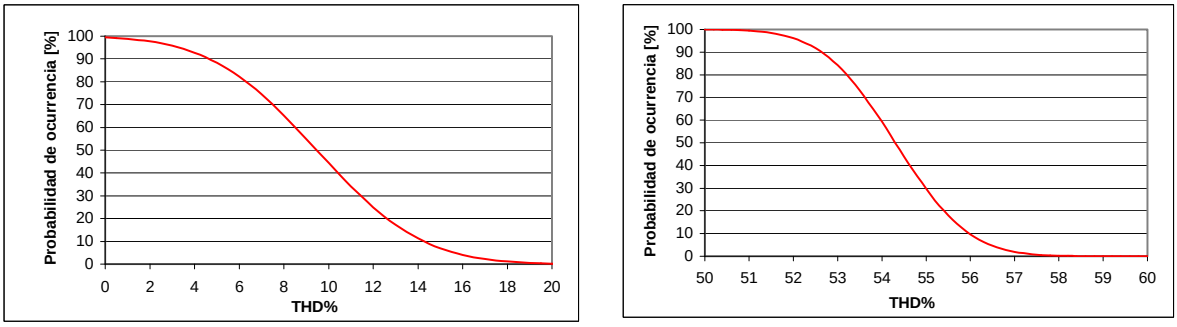
En las figs. 6 a y b se muestran los histogramas pertenecientes a cada uno de los subintervalos. Observando la forma de los mismos se puede deducir que los datos se distribuyen de acuerdo a una distribución normal, y dado que cumplen esta condición resulta posible calcular las correspondientes funciones de distribución de probabilidades.




**(a)** Subintervalo I. **(b)** subintervalo II.

**Fig. 6.** Función densidad de probabilidades.

Las funciones de distribución de probabilidades, calculadas a partir de (5), para los subintervalos I y II se representan en las figs. 7 a y b respectivamente.




**(a)** Subintervalo I. **(b)** subintervalo II.

**Fig. 7.** Función distribución de probabilidades

Analizando la fig. 7a se puede decir que no existe probabilidad de encontrar un valor de THDi superior a 20% durante el intervalo comprendido entre las 6:00 y las 21:00 hs. Sin embargo para el resto del día, y en la fig. 7b se determina que existe un 100 % de probabilidad de superar el valor de THDi de 50 %. Como así también que no existe probabilidad de encontrar valores de THDi superiores a 57%.

Es decir, que para el intervalo de tiempo comprendido entre las 21:00 y 06:00 hs se supera ampliamente el máximo valor de THDi que establece la normativa vigente [2].

La principal desventaja de este método radica en la duplicación de los cálculos analíticos a realizarse en cada subintervalo, lo que supone un mayor tiempo de procesamiento ya que deben calcularse los indicadores estadísticos para cada caso. Otra manera de tratar este problema, es mediante la combinación estadística / determinística que se explica a continuación.

*4.2. Método combinado Estadística / Determinística.*

Los múltiples picos que se presentan en histogramas como los mostrados en la fig. 4, demuestran la presencia de una componente determinística en la señal. Este método se basa en considerar a la señal original,

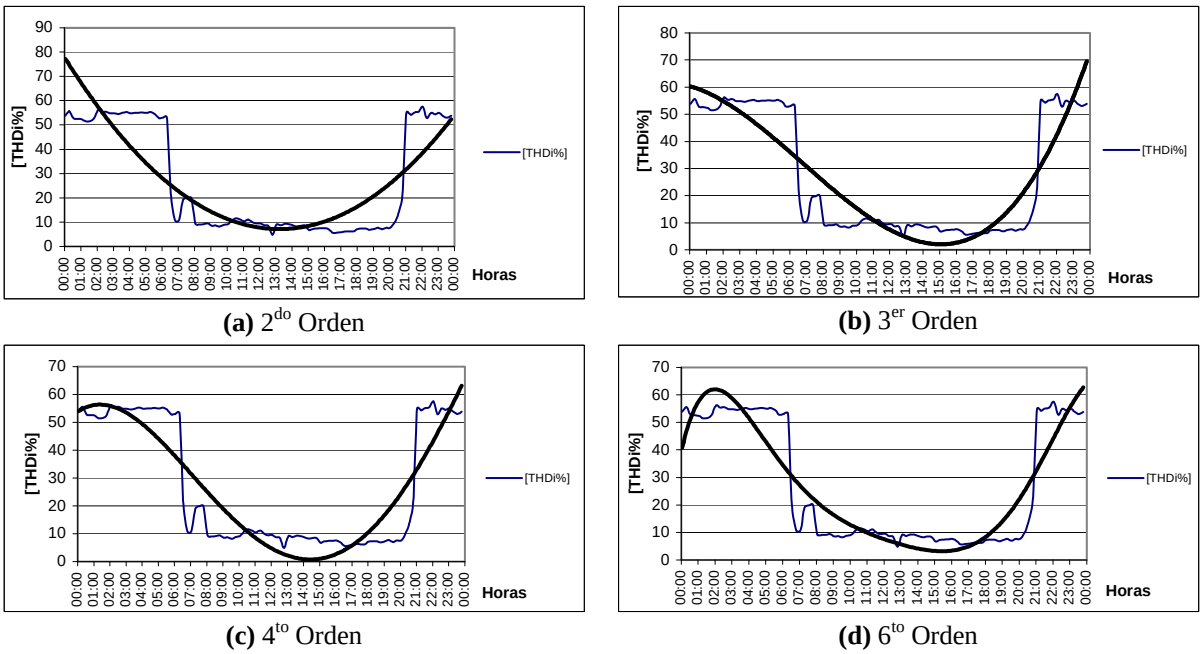
compuesta por una componente aleatoria $X_R$ y una componente determinística $X_D$. Los valores de $X_D$ pueden obtenerse a partir de una función polinomial de un determinado grado que represente de manera adecuada la tendencia general de los datos obtenidos en las mediciones. La componente aleatoria $X_R$ es entonces definida como la diferencia entre la señal real y la componente determinística.

$$X_R = X_{real} - X_D \qquad (6)$$

A partir de allí, si se elimina la componente determinística de la señal original, la función de densidad de probabilidades correspondiente a la componente aleatoria resultante posee una distribución aproximadamente normal, y por lo tanto puede utilizarse la expresión (5) para el cálculo de las correspondientes probabilidades de ocurrencia.

*4.2.1. Elección del polinomio de la componente determinística.*

La componente determinística es representada a través de una función polinomial de un determinado orden que representa de manera aproximada todos los valores del lote de mediciones. A continuación, en la fig. 8 (a), (b), (c) y (d) se muestran una serie de funciones de distinto grado que representan la tendencia general de los datos, la que puede analizarse la conveniencia de cada una de ellas.

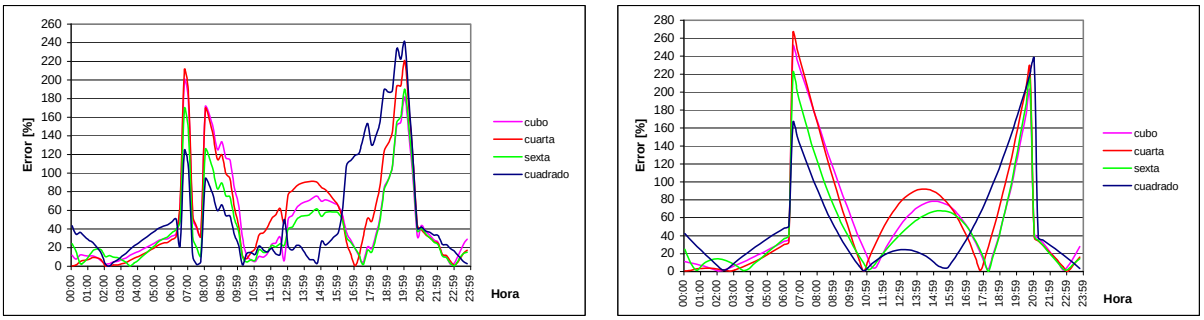



**(a)** 2$^{do}$ Orden **(b)** 3$^{er}$ Orden

**(c)** 4$^{to}$ Orden **(d)** 6$^{to}$ Orden

**Fig. 8.** Funciones de distinto orden representativas de la tendencia general de los datos.

Para poder determinar cuál es la función que mejor representa al conjunto de datos se calcula el error existente entre la componente determinística y la señal original para cada una de las funciones halladas. También se calcula el error entre la componente determinística y el valor medio correspondiente a cada subintervalo de datos. O sea, para el subintervalo que comprende los datos entre las 6:00 y las 21:00 Hs el valor medio del THDi es de 9.5 % y para el subintervalo que comprende al resto de las mediciones este valor asciende a 54.3 %. En las figs. 9 (a) y (b) se representan los errores con respecto al valor original y respecto a los valores medios respectivamente.




(a) (b)

**Fig. 9.** Errores calculados para cada una de las funciones de distinto orden.

Como es posible observar de las figs. 9 (a) y (b), la función que mejor representa al conjunto de datos es una ecuación cuadrática, ya que la misma es la que presenta el mínimo error respecto a la señal original y al valor medio. También de estas figuras se puede deducir que en aquellas horas en las que se producen los

cambios bruscos de THDi, los errores llegan a ser muy elevados, del orden del 250 %. Por lo tanto, la aplicación de este método no garantiza una buena exactitud.

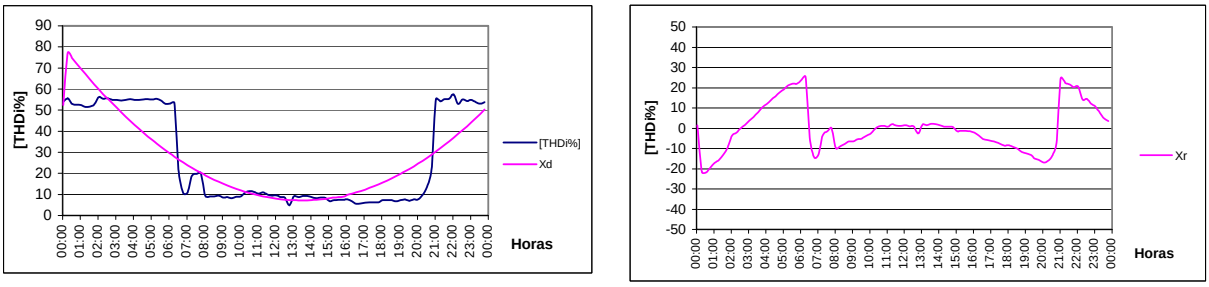
*4.2.2. Aplicación del polinomio de grado cuadrático.*

De acuerdo a las conclusiones obtenidas en el análisis del punto anterior, se determina que para representar la componente determinística $X_D$, de los datos del ejemplo B de la fig. 2 es una ecuación cuadrática que vale:

$$X_D = 232.71 \cdot t^2 - 256.4 \cdot t + 77.771 \text{, donde} \qquad 0 < t < 1 \qquad (7)$$

Se llevó a cabo un ajuste utilizando como modelo un polinomio cuadrático. Se utilizó el método de mínimos cuadrados, que hace mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales desde los puntos a la curva, es decir, la suma de cuadrado de los errores.

En las figs. 12 y 13, se muestran las componentes $X_D$ y $X_R$ halladas a través de las ecuaciones (6) y (7) respectivamente.




**(a)** Componente determinística. **(b)** Componente Aleatoria.

**Fig. 10.** Componentes determinísticas y aleatorias de la función

En la fig. 10b se observa que los valores de la componente aleatoria se dispersan alrededor del valor de THDi = 0 %. Esto se debe a que la componente determinística ha sido eliminada de la señal original. Resulta importante analizar el significado físico que el valor medio de la componente aleatoria sea nulo y para comprender esto, se debe tener presente que al quitar la componente determinística de la señal original, se está suprimiendo de la misma el valor medio que representa a esta componente. O sea, que ahora al calcular la probabilidad de ocurrencia, se está hallando la probabilidad de que el valor medio de la señal original sea excedido en un determinado porcentaje.

La fig. 11 se muestra la función densidad de probabilidades para la componente aleatoria resultante mostrada en la fig.10b.

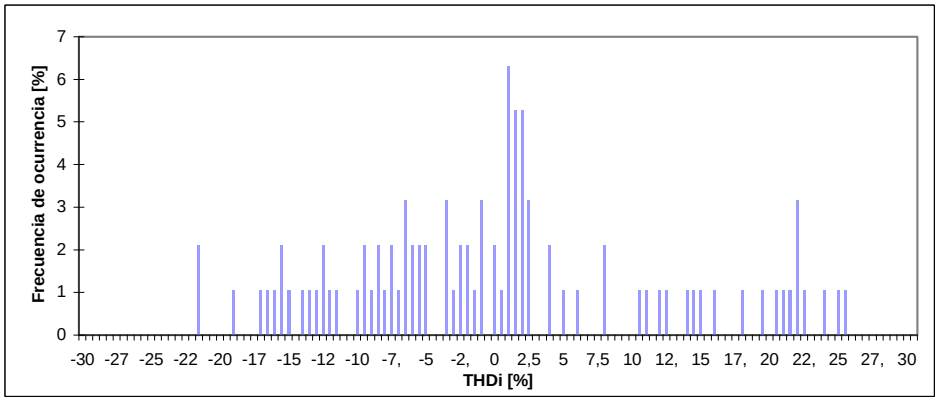



**Fig. 11.** Función densidad de probabilidades para $X_R$.

En la fig.11, se representa la función densidad de probabilidades de la que puede verse como los datos adoptan una distribución que es aproximadamente normal alrededor de un valor medio y muy próximo al cero. A partir de este hecho, o sea, datos normalmente distribuidos y el valor medio, se pueden calcular las correspondientes probabilidades de ocurrencia de acuerdo a la ecuación (8).

$$p(x_R) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} exp\left( \frac{-(X_R)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \qquad (8)$$

En la fig. 12 se muestra la función distribución de probabilidades para $X_R$ calculada a partir de (6).

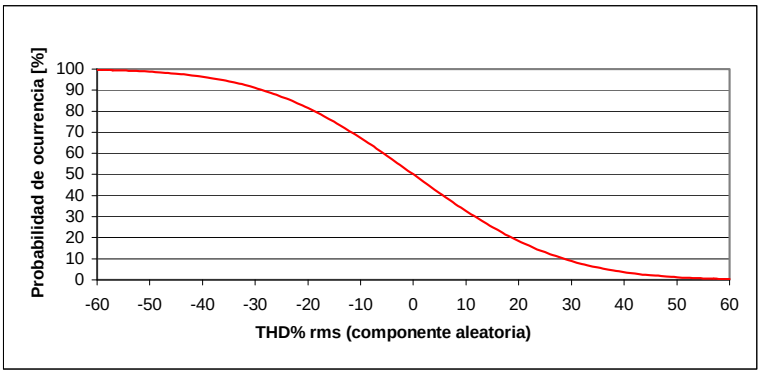



**Fig. 12.** Función distribución de probabilidades para $X_R$.

Por ejemplo, es posible hallar la probabilidad de que el valor de THDi calculado para una determinada hora sea superado en un 10 %. A partir de la ecuación (7) se puede calcular el valor de THDi para la hora deseada, por ejemplo t = 0.416 (equivalente a las 10:00 hs).

$$X_D(0.416) = 232.71 \cdot (0.416)^2 - 256.4 \cdot (0.416) + 77.771 = 11.33\%$$

Al reemplazar en la ecuación (6) el valor de la hora en la cual queremos hallar el valor de THDi se obtiene un valor de $X_D$ de 11.33 [%]. Luego con ayuda de la fig. 12 se puede determinar la probabilidad de superar el valor hallado de THDi = 11.33 % en por ejemplo un 10 % por encima de éste, o sea mayor a 21.33 % que es del 30 %.

## 5. CONCLUSION.

En este artículo se discuten las dificultades presentadas en las mediciones de un sistema urbano de energía en donde se registran fuertes variaciones del índice THD. Mediante la utilización de simples indicadores estadísticos se puedo determinar de manera representativa los valores medio y desviaciones como también para un caso en particular, con fuerte componente determinística se puede proponer y analizar dos técnicas que resultaron compatibles en este tipo de datos. En uno de ellos, mediante un procedimiento se elimina la componente determinística mediante la utilización de un polinomio el cual resulta más adecuado uno de grado dos.

La obtención de la probabilidad de ocurrencia determina la posibilidad de superar los valores máximos permitidos por la normativa vigente. Para el ejemplo A se puede acotar la misma, entre un 7%<THDi<14% la que tiene una probabilidad de superar este límite inferior en un 0%, es decir que se garantiza no superar el valor máximo establecido por la normativa que es de un 20%. Para el ejemplo B, utilizando la división por sub-intervalos en la primera de ellas este índice se acota entre 0 y 19%, lo que permite asegurar la misma conclusión del párrafo anterior. Para la segunda parte del subintervalo se obtiene un 50%<THDi<57% obteniéndose un 100% de probabilidad se superar el valor de la normativa.

En la aplicación del método estadístico determinístico resume un valor medio de 22,7% y con un 32% de las mediciones que tienen una probabilidad de superar dicho valor medio lo que supera ampliamente los valores de las normativas. Sin embargo, para el 60% del lote de medición permite bajar este valor medio en un 5% lo que permite asegurar el cumplimiento de la normativa.

## 6. BIBLIOGRAFIA.


[1 ] Gregory W. Massey, *"Estimation Methods for power harmonic effect on power distribution transformers"*, **IEEE Transactions on industry applications**, Vol. 30, Nro. 2, March / April 1994, pp. 485 – 489.

[2 ] Resolución ENRE 99/97.

[3 ] J. Milía, *"Estudio, modelación y análisis armónico de un sistema urbano"*, **Beca de Entrenamiento, U.N.C.P.B.A – Facultad de Ingeniería- Argentina,** Diciembre 2000.

[4 ] Walpole, Ronald E,Myers,R., *Probabilidad y Estadística*, Buenos Aires, **Mc Graw-Hill**, 1992.México, Prentice Hall,1999.México, Pearson Educación,2007.

[5 ] Montgomery,D., Goldsman D.,Borror C., *Probabilidad y Estadística para Ingeniería*, México, **Compañía Editorial Continental**, 2006.

[6 ] Mendenhall,W.,Beaver,Beaver, Introducción a la Probabilidad y Estadística, México, **Editorial Thomson**,2002.

[7 ] Probabilistic Aspects Task Force of the Harmonics Working Group Subcommittee of the Transmission and Distribution Committee, *"Time Varying Harmonics: Part I – Characterizing Measured Data"*, **IEEE Transaction on Power Delivery**, Vol. 13, N°3, July 1998, pp. 938-943.