

Monitoreo de la Calidad de Energía Eléctrica Mediante un Análisis Estadístico Multivariado

Resumen: Este trabajo introduce una metodología basada en análisis estadístico multivariado para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica. Se aplican técnicas estadísticas afianzadas, tales como análisis de componentes principales (PCA) y factores de correlaciones entre variables, para encontrar relaciones e indicadores subyacentes en los datos obtenidos por mediciones de variables relacionadas con la calidad de energía eléctrica. A los efectos del presente trabajo, los datos se obtuvieron a lo largo de 6 campañas de medición reales. La motivación y originalidad de la metodología propuesta radica en la búsqueda de un nuevo enfoque que permita cuantificar y calificar de modo sistemático a la calidad de energía de un usuario en base a mediciones tradicionales de la calidad del suministro. Si bien los resultados son aún preliminares, se considera que la metodología propuesta es viable y promisorio.

Palabras Claves: Calidad de Energía Eléctrica, Componentes Principales, Correlación Lineal.

Abstract: This work introduces a methodology based on multivariate statistical analysis for monitoring electrical power quality. Well-established statistical techniques -such as Principal Components Analysis (PCA) and correlation linear factors between variables- are used with the aim of finding relations and indicators underlying in the raw measurements of electrical variables. In the present work, data were obtained from six measurement campaigns. The motivation and originality of the proposed methodology aim at determining a systematic quantification and qualification of the electrical power quality based on typical measurements of the quality power supply. Although results are still preliminary, the proposed methodology seems to be viable and promissory.

Keywords: Electrical Power Quality, Principal Components, Linear Correlation.

Emmanuel Sangoi

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), UNL-CONICET, Ruta Nacional 168, Km. 0 Santa Fe, Argentina. Tel: +54 (0) 342 451 1595, Fax: +54 (0) 342 451 1079, director-intec@santafe-conicet.gov.ar

Grupo de Control y Seguridad Eléctrica (CySE), UTN, Facultad Regional Santa Fe, Lavaise 610, Santa Fe, Argentina, Tel: (0342) 460 1579 interno 0206, cyse@frsf.utn.edu.ar

Mail: esangoi@frsf.utn.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La calidad de energía o de potencia es la rama de la Ingeniería Eléctrica que estudia las condiciones a satisfacer por la energía eléctrica recibida por el usuario, de manera tal que le facilite cumplir con las funciones para la cual se la adquiere, permitiendo el funcionamiento de sus equipos dentro de las condiciones de diseño y alcanzando así el rendimiento y vida útil nominales [Targaroni (2005)]. Excluyendo a los fenómenos transitorios (huecos de tensión, micro-cortes, sobretensiones transitorias, etc.), hay parámetros que definen a la calidad de la energía eléctrica y que son medibles por analizadores de energía que pueden monitorearlos de forma “permanente”. Esos parámetros están relacionados con el valor eficaz de la tensión, la frecuencia, el desequilibrio de las tensiones de fase, las fluctuaciones de tensión (efecto flicker) y la distorsión armónica. Todos estos parámetros podrán estar relacionados en mayor o menor medida con el nivel de la demanda de energía, y dependerán de la “robustez” de la red eléctrica en el punto de medición (potencia de cortocircuito). Por ejemplo, la calidad de la tensión puede verse afectada por el nivel de demanda del usuario dependiendo de la red que lo alimenta. El estudio de esta dependencia influye en la atribución de responsabilidades entre la distribuidora y el usuario cuando hay problemas relacionados con la calidad de la energía. Según el caso, la responsabilidad en la mala calidad de la energía podrá ser atribuible al usuario o a la distribuidora, cuestión que en la mayoría de los casos da lugar a grandes controversias entre las partes. Así, por ejemplo, el efecto flicker en la tensión de red puede ser debido a que la distribuidora “entrega” una tensión con fluctuaciones (por ejemplo, perturbaciones introducidas por otros usuarios) o a las corrientes de gran magnitud y amplias variaciones demandadas por el usuario en una red con baja potencia de cortocircuito. Para un sistema trifásico, todas estas variables pueden

medirse independientemente en cada una de las tres fases. Para establecer referencias y márgenes de variación tolerables, los parámetros que definen a la calidad de energía tienen valores límites indicados en normas y regulaciones tanto nacionales como internacionales (por ejemplo, IEEE 1159, EN50160, IEEE 519, regulaciones ENRE 184/00 y 99/97, etc.).

La calidad de energía para un usuario cualquiera, ubicado en un punto determinado de la red eléctrica, suele estudiarse mediante una “campaña de medición”. Por ejemplo, una campaña típica puede involucrar el registro sistemático de los parámetros antes mencionados en intervalos de 10 minutos durante 7 días, lo cual generará un conjunto de 1008 vectores multivariados. Estas campañas se llevan a cabo con un analizador de red que registra y guarda la información, promediando los valores cada 10 minutos, y generando una matriz de datos a la que se le puede imponer un tratamiento estadístico.

El Análisis de Componentes Principales (PCA -por su acrónimo en inglés: Principal Component Analysis-) suele aplicarse en el estudio de procesos multivariados y es una técnica estadística que permite reducir la dimensión de un conjunto de datos sin perder la información más sustancial. Las componentes principales de un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p son justamente un conjunto particular de otras p variables z definidas como combinaciones lineales de las variables originales, es decir:

$$\begin{aligned} z_1 &= c_{11} \cdot x_1 + c_{12} \cdot x_2 + \dots + c_{1p} \cdot x_p \\ z_2 &= c_{21} \cdot x_1 + c_{22} \cdot x_2 + \dots + c_{2p} \cdot x_p \\ &\vdots \\ z_p &= c_{p1} \cdot x_1 + c_{p2} \cdot x_2 + \dots + c_{pp} \cdot x_p \end{aligned} \quad (1)$$

Ordenando los autovalores λ de la matriz de covarianza del vector multivariado original X , de

forma tal que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$, las constantes c_{ij} quedan definidas por los elementos del autovector i asociado con el autovalor λ_i . Geométricamente, las componentes principales pueden interpretarse como los ejes de un nuevo sistema de coordenadas obtenido al rotar los ejes del sistema de coordenadas original. Los nuevos ejes representan las direcciones de máxima variabilidad. El objetivo de este enfoque es justamente encontrar un nuevo conjunto de direcciones ortogonales que definan la máxima variabilidad en la información original, con el fin de lograr una descripción fiable del proceso bajo estudio, considerando un número de variables inferior al original [Montgomery (2009)]. En definitiva, la información contenida en todas las componentes principales es equivalente a la del conjunto de variables originales, pero con la ventaja de que permite describir satisfactoriamente al proceso mediante el uso de unas pocas componentes principales que suelen representar el 80-90% de la información del proceso [Sharma (1996)] y cuya interpretación depende de los datos bajo estudio.

El estudio estadístico de información mediante PCA se ha aplicado en innumerables campos de la ciencia y la ingeniería, ya que, entre otras cosas, permite medir de forma indirecta variables que no pueden medirse directamente. Así, por ejemplo, en el estudio de la calidad ambiental, se ha empleado esta técnica para traducir la información de 10 indicadores a sólo tres componentes principales, relacionadas a calidad de vida en el hogar, temperatura ambiental y calidad ambiental fuera de la vivienda [Yengle (2012)]. Más específicamente en el campo de la calidad de energía eléctrica, algunos trabajos han empleado esta técnica para clasificar subestaciones de transformación con problemas

de huecos de tensión [Jacques et al. (2016)], en la caracterización de huecos de tensión [Abbas et al. (2009)], y en la clasificación de perturbaciones como huecos de tensión, sobretensiones, picos de tensión, micro-cortes, armónicos y fluctuaciones [Luan et al. (2012)].

El objetivo de este trabajo es efectuar un análisis preliminar y valorar un nuevo enfoque para el estudio de calidad de energía, aplicando técnicas de análisis multivariable como PCA y factores de correlaciones lineales, para encontrar relaciones e indicadores ocultos entre los parámetros referidos a la calidad de energía eléctrica obtenidos durante campañas de medición efectuadas en campo. En trabajos futuros, se pretende lograr definir nuevas variables o indicadores que, a través de su cuantificación indirecta, permitan calificar la calidad de energía que posee un usuario e inferir sobre el origen de sus eventuales problemas.

METODOLOGÍA

Se analizaron 6 conjuntos de datos correspondientes a 5 usuarios de gran demanda: 2 ubicados en la ciudad de Santa Fe y 3 en la ciudad de Rafaela (a uno de los usuarios se le efectuaron 2 mediciones en tiempos diferentes). Las mediciones se hicieron con un analizador de redes eléctricas trifásico, marca Dranetz, modelo 440s. En adelante, los conjuntos de datos correspondientes a cada usuario se mencionarán como U1, U2,..., U6. Las variables a considerar en el estudio fueron en total 18 y se eligieron de modo que las mismas puedan caracterizar individualmente al estado de calidad en cada fase de la acometida. La descripción de cada variable se muestra en la Tabla 1.

1	Tensión de fase	V	[V]	±10% durante el 95% del tiempo de medición.
2	Desbalance de tensiones	DeseqV	[%]	Calculada como desviación de su valor eficaz con respecto al promedio de las tres fases. Inferior a 2% durante el 95% del tiempo de medición.
3	Flicker	PST	[p.u.]	Nivel de fluctuaciones periódicas en el valor eficaz de la tensión (efecto flicker). Inferior a 1 durante el 95% del tiempo de medición.
4	Distorsión armónica total en la tensión.	THDv	[%f]	Inferior al 8% durante el 95% del tiempo de medición.
5	3er armónico de tensión	Arm3v	[%f]	Inferior al 5% durante el 95% del tiempo de medición.
6	5to armónico de tensión	Arm5v	[%f]	Inferior al 6% durante el 95% del tiempo de medición.
7	7mo armónico de tensión	Arm7v	[%f]	Inferior al 5% durante el 95% del tiempo de medición.
8	9no armónico de tensión	Arm9v	[%f]	Inferior al 1,5% durante el 95% del tiempo de medición.
9	Desequilibrio de corriente	Deseql	[%]	Calculada como la desviación de su valor promedio de las tres fases, tomando como referencia a la máxima corriente contratada. inferior al 10% durante el 95% del tiempo de medición.
10	Distorsión armónica total en la demanda	TDD	[%]	Inferior a 20% durante el 95% del tiempo de medición.
11	3 er armónico de corriente	Arm3I	[% I _{max}]	Inferior al 16,6% durante el 95% del tiempo de medición.
12	5 to armónico de corriente	Arm5I	[% I _{max}]	Inferior al 12% durante el 95% del tiempo de medición.
13	7mo armónico de corriente	Arm7I	[% I _{max}]	Inferior al 8,5% durante el 95% del tiempo de medición.
14	9 no armónico de corriente	Arm9I	[% I _{max}]	Inferior al 2,2% durante el 95% del tiempo de medición.
15	Intensidad de corriente	I	[A]	Sin umbrales
16	Potencia activa	P	[kW]	Sin umbrales
17	Potencia reactiva	Q	[kVAr]	Sin umbrales
18	Factor de potencia	FP	[p.u.]	Superior a 0,95 durante el 95% del tiempo de medición

Tabla 1: Variables elegidas para caracterizar el estado de cada fase.

En la búsqueda de resultados, se consideraron dos puntos de vista para el análisis de los 6 conjuntos de datos (en adelante, “Estudio I” y “Estudio II”). En el Estudio I, se analizaron 17 variables en cada una de las tres fases (variables 1 a 17). En el Estudio II, se analizó el percentil 95 en 15 de las variables monitoreadas en cada una de las tres fases (variables 1 a 14 y variable 18). En todos los casos, se emplearon las herramientas estadísticas disponibles en el software Matlab.

Para los resultados del Estudio I, las variables se ordenaron bajo un criterio específico y se determinó el coeficiente de correlación lineal entre las mismas usando su matriz de covarianza, definiendo así una matriz simétrica de 17 filas por 17 columnas. Por ser simétrica, se consideraron sólo los valores que están por encima de la diagonal principal. Esta disposición permitió definir para cada fase y para cada usuario, tablas de valores como la representada en la Figura 1, en donde pueden identificarse “zonas” de mayor o menor correlación entre variables. Dado que los coeficientes de correlación varían entre -1 y 1, se ponderó a los coeficientes mediante una escala de colores, de tal modo que aquellas relaciones más cercanas a 1 o -1 (es decir, relaciones lineales más fuertes) se les asignó un color rojo, mientras que se asignó el color gris para valores

cercanos a 0. En principio, una inspección visual de estos datos para cada fase da una idea preliminar de la situación global del usuario en cuanto a cuestiones de calidad de suministro y eventualmente podría inferirse algún tipo de cuestión que requiera profundizarse con más detalle.

Para los resultados del Estudio II, se intentó encarar el análisis desde otro enfoque: se modificó el conjunto de datos de cada usuario dejando de lado el factor temporal en la variabilidad de la información y pasando a considerar, en cada fase, al percentil 95 de cada variable y su contraste con lo especificado en la normativa. Para ello, el número de variables consideradas se redujo a 15, reemplazando a las variables de corriente y potencia por el factor de potencia del usuario calculado con las energías activas y reactivas. Para este caso, el nuevo conjunto de datos de cada usuario es una matriz de 3 filas (correspondientes a las tres fases) y 15 columnas (correspondientes a las 15 variables bajo estudio). Para considerar los correspondientes límites, los percentiles de las variables se normalizaron considerando a su correspondiente umbral admisible de tolerancia, de modo tal que la variable correspondiente toma un valor entre 0 y 1 si su valor es admisible por la normativa y es superior a 1 si su valor no cumple con la normativa.

--	V	deseq V	pst	THD V	arm 3 V	arm 5 V	arm 7 V	arm 9 V	deseq I	TDD	arm 3 I	arm 5 I	arm 7 I	arm 9 I	I	P	Q
V	Rel. entre parámetros de tensión																
deseq V	Rel. entre parámetros de tensión y armónicos de tensión			Relación entre parámetros de tensión y armónicos de corriente						Relación entre parámetros de tensión y demanda							
pst	Relación entre armónicos de tensión				Relación entre armónicos de tensión y corriente							Relación entre armónicos de tensión y demanda					
THD V	Rel. entre desequilibrio y armónicos de corriente					Relación entre armónicos de corriente									Relación entre armónicos de corriente y demanda		
arm 3 V	Relación entre parámetros de tensión y demanda										Relación entre parámetros de tensión y demanda						
arm 5 V	Relación entre parámetros de tensión y demanda											Relación entre parámetros de tensión y demanda					
arm 7 V	Relación entre parámetros de tensión y demanda												Relación entre parámetros de tensión y demanda				
arm 9 V	Relación entre parámetros de tensión y demanda													Relación entre parámetros de tensión y demanda			
deseq I	Relación entre parámetros de tensión y demanda														Relación entre parámetros de tensión y demanda		
TDD	Relación entre parámetros de tensión y demanda															Relación entre parámetros de tensión y demanda	
arm 3 I	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
arm 5 I	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
arm 7 I	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
arm 9 I	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
I	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
P	Relación entre parámetros de tensión y demanda																
Q	Relación entre parámetros de tensión y demanda																

Fig. 1: Matriz de correlaciones entre las variables del Estudio I. Identificación de “zonas” de relación entre variables para el análisis gráfico o visual de cada usuario.

RESULTADOS

Resultados del Estudio I: Correlación lineal entre variables

Con el fin de poder efectuar una comparación visual, en la Figura 2 se muestran las tablas de correlación correspondientes a las tres fases de cada usuario ponderadas bajo una escala de colores común a todas. Atendiendo a las “zonas” descritas en la Figura 1 y considerando la escala de colores pre-definida, en una primera observación de las gráficas, puede establecerse que el usuario 1 posee correlaciones importantes entre parámetros de tensión (valor eficaz de la tensión, flicker y desbalances), correlaciones entre armónicos de tensión y corriente, correlaciones entre el 5to armónico de tensión y los parámetros de consumo, correlaciones entre armónicos de corriente y parámetros de demanda. A su vez, para este usuario se observa similitud entre los diagramas de las tres fases, aunque correlaciones menos significativas en la fase C. El usuario 2 posee correlaciones importantes entre parámetros de tensión y la distorsión armónica de la corriente, correlaciones entre armónicos de tensión y corriente, correlaciones entre armónicos de corriente y parámetros de demanda, correlaciones entre parámetros de tensión y parámetros de demanda. Para este usuario se observan también correlaciones más significativas en la fase C. El usuario 3 posee correlaciones importantes entre parámetros de tensión, principalmente en las fases A y C correlaciones entre armónicos corriente, correlaciones entre armónicos de corriente y parámetros de demanda, importantes correlaciones entre los armónicos de corriente de orden 9, con algunos armónicos de tensión, correlaciones más significativas

entre armónicos y demanda en la fase B. El usuario 4 presenta correlaciones significativas entre la tensión y la mayoría de los parámetros, relaciones importantes entre los armónicos 7 y 9 de tensión con los armónicos de corriente y con los parámetros de demanda, correlaciones importantes entre los armónicos de tensión y corriente con los parámetros de consumo, principalmente en la fase B y presenta en general leves diferencias entre las tres fases. El Usuario 5 posee correlaciones importantes entre parámetros de tensión, principalmente en la fase A, correlaciones entre armónicos de tensión y corriente, correlaciones entre armónicos y parámetros de demanda, leves correlaciones entre parámetros de tensión y parámetros de demanda y en general presenta similitud entre las tres fases. El Usuario 6 presenta correlaciones importantes entre algunos parámetros puntuales. Correlaciones entre armónicos de tensión y corriente, leves correlaciones entre armónicos y parámetros de demanda, correlaciones entre parámetros de tensión y demanda más significativos en la fase C y en general similitud entre las tres fases.

En definitiva, puede observarse que los gráficos de correlación reflejan cuestiones inherentes a las condiciones de cada usuario y que una correcta interpretación de los mismos podría aportar información relevante para el monitoreo de la calidad de energía. Por ejemplo, los usuarios 4 y 6 son los únicos que presentan problemas relacionados al flicker; no obstante, el usuario 4 se conecta a la red de Rafaela mientras que el usuario 6 a la red de Santa Fe. Notar que el usuario 4 es quien presenta mayor correlación entre variables (mayor cantidad de rojo) y es justamente este usuario el único que presenta problemas relacionados con flicker y a su vez está conectado a una red relativamente débil.

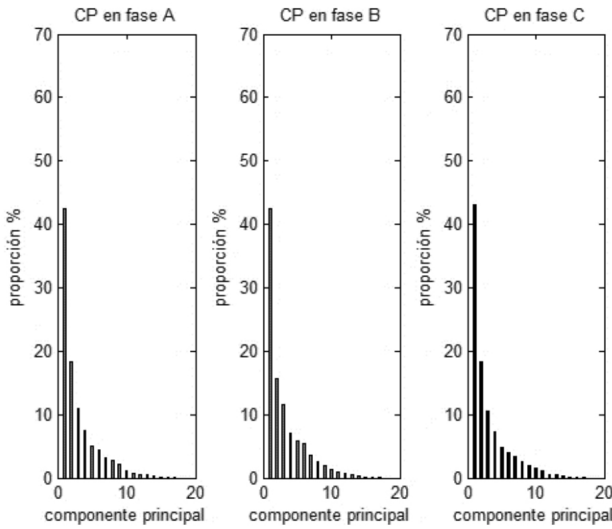


Fig. 3: Componentes principales para las tres fases del usuario 1.

Los usuarios 4 y 6, que son los únicos que presentan problemas de calidad de energía relacionados con el flicker; presentan algunas diferencias con respecto a los demás usuarios en cuanto a la ponderación de las variables en cada CP.

Resultados del Estudio II

Tomando por ejemplo al usuario 4, el conjunto de

datos descripto en la metodología se observa en la Tabla 2. El mismo set de datos, pero normalizados en función de los límites marcados en la normativa, se muestra en la Tabla 3. Notar que para éste usuario se incumplen los límites del flicker.

El análisis de CP sugiere que todos los conjuntos de datos quedan representados con casi el 100% de la información contenida en sólo 2 CP. A priori, del análisis sobre qué variable pondera con mayor fuerza en cada CP, no pudo extraerse resultados concluyentes, ya que los coeficientes no presentan un patrón identificable a simple vista o de fácil interpretación. En este punto, se requiere un estudio más pormenorizado para cada usuario en particular.

No obstante, lo anterior, dado que para todos los usuarios se encontraron 2 CP, se procedió a calcularlas en función del valor de la variable correspondiente en cada una de las tres fases, definiendo así para cada usuario, tres puntos (uno por cada fase) que pueden plasmarse en un gráfico 2D. Tomando por ejemplo al usuario 4, se obtiene un gráfico como el de la Figura 5.

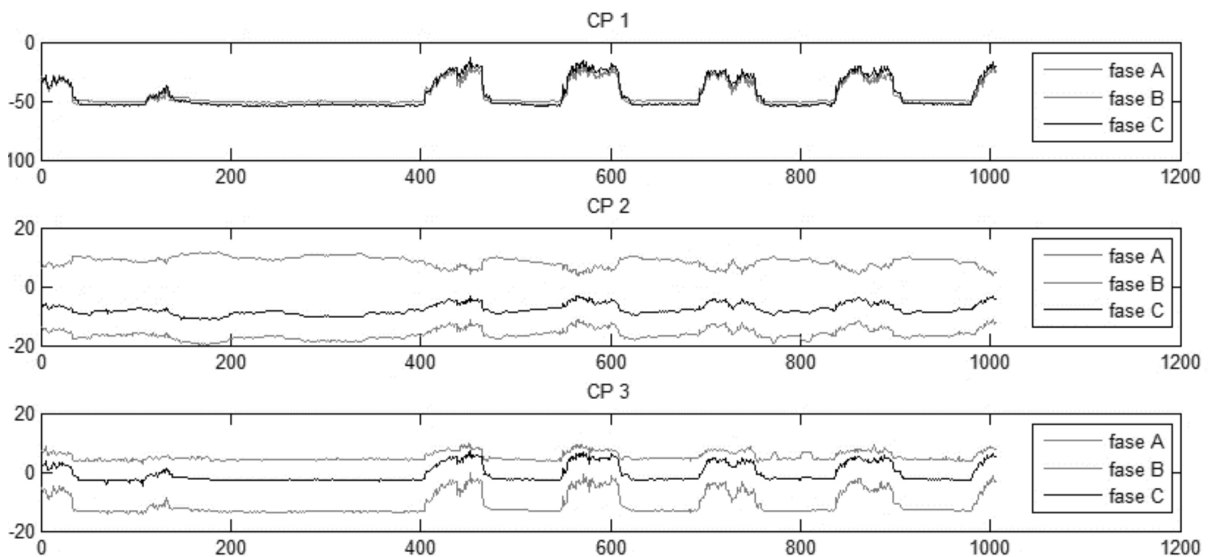


Fig. 4: Tendencia de las tres componentes principales para cada fase - usuario 4.

	V	deseq V	pst	THD V	arm 3 V	arm 5 V	arm 7 V	arm 9 V	deseq I	TDD	arm 3 I	arm 5 I	arm 7 I	arm 9 I	FP
FASE A	234,1	0,315	1,09	2,512	0,323	3,049	1,584	0,303	0,790	2,09	0,659	4,108	2,596	0,481	0,994
FASE B	234,4	0,527	1,01	2,734	0,429	3,185	1,650	0,429	1,754	1,99	1,030	4,048	2,614	0,685	0,999
FASE C	233,6	0,732	1,05	2,613	0,368	3,014	1,664	0,603	2,326	1,95	0,669	3,799	2,381	0,734	0,996

Tabla 2: Conjunto de datos sin normalizar para el usuario 4.

	V	deseq V	pst	THD V	arm 3 V	arm 5 V	arm 7 V	arm 9 V	deseq I	TDD	arm 3 I	arm 5 I	arm 7 I	arm 9 I	FP
FASE A	0,645	0,158	1,090	0,314	0,065	0,508	0,317	0,202	0,079	0,10	0,040	0,342	0,305	0,218	0,111
FASE B	0,655	0,263	1,012	0,342	0,086	0,531	0,330	0,286	0,175	0,10	0,062	0,337	0,308	0,311	0,020
FASE C	0,620	0,366	1,057	0,327	0,074	0,502	0,333	0,402	0,233	0,09	0,040	0,317	0,280	0,334	0,078

Tabla 3: Conjunto de datos normalizados según normativa para el usuario 4.

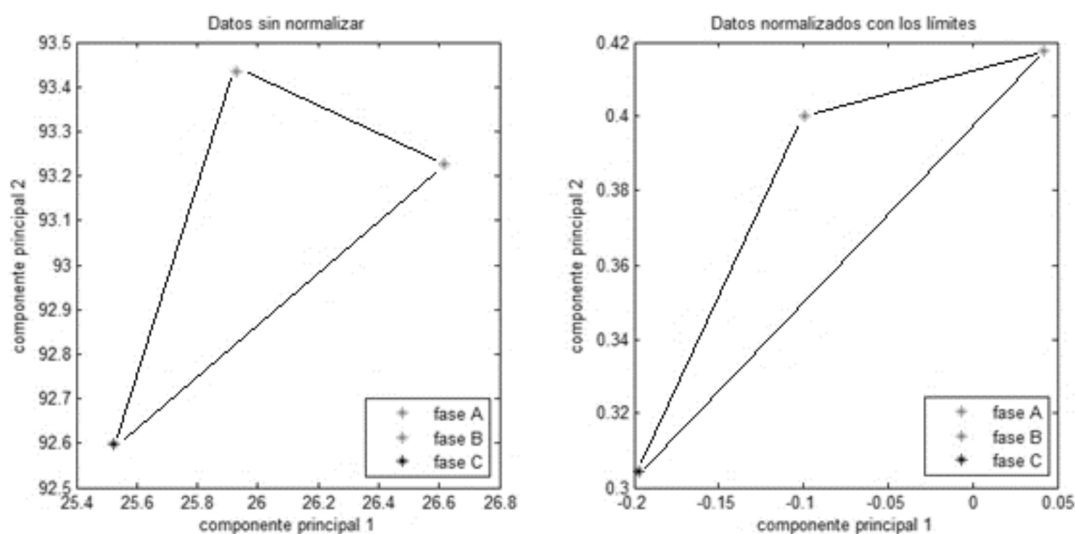


Fig. 5: Componentes principales para cada fase en el usuario 4. Resultados con el conjunto de datos sin normalizar (izq.) y con datos normalizados (der.).

En ambos puntos de vista, debe prestarse atención a las unidades empleadas en cada análisis. Justamente, la idea de la normalización en los datos intenta unificar criterios para poder comparar una medición con otra. A priori, aún se desconoce la interpretación o significado (si lo tiene) de cada una de las dos componentes principales halladas, aunque evidentemente caracterizan a cada medición.

Este mismo análisis puede hacerse para todos los usuarios y comparar los “triángulos” obtenidos para cada uno, buscando información significativa. En la Figura 6 se

muestran los triángulos obtenidos a partir del conjunto de datos sin normalizar y con los datos normalizados según los límites de la reglamentación. En la figura puede observarse que cada medición, representada por un triángulo, se ubica en puntos distintos sobre el plano de las componentes principales, lo cual puede ser un indicador de características inherentes a la situación del usuario en cuanto a calidad de suministro. A su vez, considerando una interpretación similar, se observa que la forma y tamaño de cada triángulo es diferente para cada usuario.

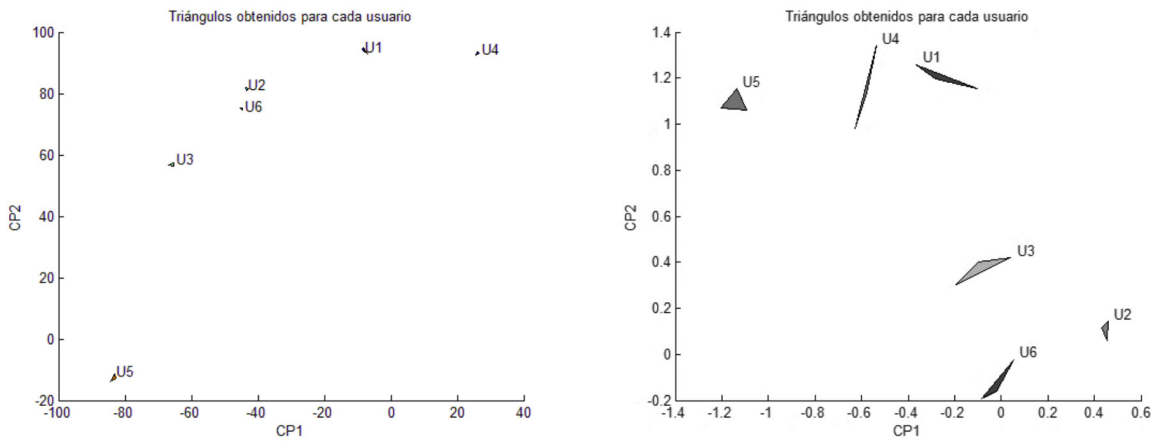


Fig. 6: Componentes principales 1 y 2 para las tres fases de cada usuario. Ubicación de cada usuario en el plano de las CPs según resultados con el conjunto de datos sin normalizar (izq.) y con datos normalizados (der.).

RESULTADOS

En este trabajo se realizó un estudio preliminar de la calidad de energía mediante el análisis estadístico multivariable, procurando buscar nuevas formas y métodos para analizar los datos bajo distintos puntos de vista. A priori se observa que las técnicas de análisis multivariable poseen un gran potencial en este campo, aunque se requiere de una investigación más pormenorizada y del análisis detallado para cada usuario con el fin de lograr resultados concluyentes. Más allá de que en esta primera etapa de estudio no se han podido visualizar resultados sobresalientes que permitan obtener conclusiones definitivas, el trabajo sirvió para motivar la continuidad de la investigación en la temática y fijar nuevas líneas de acción que permitan arribar al objetivo planteado.

Entre los próximos pasos se propone: a) reconsiderar a las variables en estudio, planteando modificar la cantidad y su “orden” en el vector de observaciones, b) considerar sólo variables de tensión (o sólo variables de demanda), c) lograr interpretar la composición de las distintas componentes principales para darles un significado físico, d) buscar la forma de establecer

límites a las componentes principales, que permitan inferir sobre el cumplimiento o no de los parámetros de calidad con lo especificado en la normativa, e) comparar resultados obtenidos en distintas mediciones hechas para el mismo usuario, en donde se sabe que las condiciones de la red eléctrica son las mismas, f) reordenar los datos en los gráficos de correlación para que los mismos reflejen mejor ciertos efectos de dependencia entre variables, g) considerar el signo del índice de correlación, y h) analizar la tendencia temporal de las componentes principales.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se dieron los primeros pasos en la búsqueda de una nueva metodología para monitorear la calidad de suministro eléctrico en uno o más usuarios de la red. El monitoreo continuo de la calidad de energía eléctrica genera un conjunto de datos al que puede aplicarse un riguroso tratamiento estadístico, usando por ejemplo herramientas similares a las empleadas en procesos multivariable.

Los gráficos de correlación mostrados permiten

hacer apreciaciones visuales que distingan a un usuario de otro, o bien, que diferencien dos estados distintos de un mismo usuario. En los mismos también puede inferirse la causa de algún problema relacionado a la calidad de energía. No obstante, los mismos requieren de un mayor desarrollo para lograr mostrar mejor la información oculta en el conjunto de datos.

El análisis de las componentes principales en el conjunto de datos originales o “tradicionales” refiere a variables indirectas que están ocultas y

que pueden representar información valiosa en el monitoreo de la calidad de suministro. Resta seguir investigando sobre la mejor forma de interpretarlas y representarlas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONICET por el financiamiento recibido a través de la beca doctoral, y a la Facultad Regional Santa Fe (UTN) por el financiamiento del proyecto PID ENUTIFE0002405TC.

REFERENCIAS

Abbas Khosravi, Joaquim Melendez, Joan Colomer. "Classification of sags gathered in distribution substations based on multiway principal component analysis". *Electric Power Systems Research*, 79, 144-151, (2009).

Jacques Miranda Filho, José Maria de Carvalho Filho, Anderson Paulo Paiva, Paulo Vitor Grillo de Souza, Samuel Tomasin. "A PCA-based approach for substation clustering for voltage sag studies in the Brazilian new energy context". *Electric Power Systems Research*, 136, 31-42, (2016).

Luan, J., B, G. Wang, H., Wang, X., Chen, S. "Principal component analysis and identification of power quality disturbance signal phase space reconstructed images"

ISBN: 978-988156381-1, (2012).

Montgomery Douglas C. "Introduction to statistical quality control". 6th Edition, New York, John Wiley & Sons, USA, (2009).

Sharma, S. "Applied multivariate techniques". New York, John Wiley & Sons, USA, (1996).

Targarona, J. C. G., "Calidad de Potencia para usuarios y empresas eléctricas". 1ra. Edición, editorial Edigar UNRC, Córdoba, Argentina, (2005).

Yengle Ruiz, Carlos. "Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental". *UCV - Scientia* 4 (2), 145-153, (2012).