

SISTEMA DE MEDIDA DE CALIDAD DE ONDA EN SEVILLANA ENDESA

POWER QUALITY MONITORING IN SEVILLANA ENDESA

Recibido: 05/11/07

Aceptado: 17/12/07

José María Romero Gordon
Ingeniero Industrial

ENDESA Distribución
Eléctrica, S.L.

RESUMEN

Bajo el término "calidad de onda" se alude al estudio de la desviación de la onda de tensión e intensidad respecto a los valores ideales senoidales. En las compañías eléctricas se ha asociado tradicionalmente con campañas de medida temporales y extensos informes repletos de índices y estudios. No obstante, en Sevillana ENDESA siempre hemos pensado que la calidad de onda podía ser una herramienta potente al servicio de la explotación de la red, jugando un papel complementario al de los sistemas SCADA actualmente en servicio.

Palabras clave: calidad de onda, sistema, base de datos, electricidad.

ABSTRACT

Power quality has been traditionally associated with measuring campaigns and detailed reports comprising lots of indexes and analyses. Nevertheless, we have always believed that power quality could be a powerful tool in the same way as SCADAs play their important role in daily operation. Therefore, in 2003 Sevillana ENDESA began to develop a new

approach to the study of power quality focused on rapid solutions, not just on papers.

Keywords: power quality, system, database, electricity.

Gracias a esta visión, en el año 2003 surgió como proyecto la instalación de un sistema completo de monitorización y análisis de la calidad de onda en nuestra red. Las características principales de este sistema pueden resumirse en:

- Equipos con instalación permanente y pequeños retrasos en el envío de la información capturada (por debajo de una hora).
- Base datos muy amplia pero a la vez rápida y robusta.
- Interfaz de acceso web para el usuario final, de manera que no esté limitado únicamente a expertos en la calidad de la onda.
- Automatización completa del sistema, reduciendo las tareas manuales de administración al mínimo posible.
- Empleo de software libre bajo licencias GPL¹ o BSD², evitando el pago de costosas licencias y, sobre todo, permitiendo nuevos desarrollos y cambios muy dinámicos y rápidos.
- Enlace automático a otras fuentes de datos, tales como precipitaciones, viento, caída de rayos o maniobras y disparos de elementos de la red.

El resultado es un sistema en continuo desarrollo que cubre actual-

mente el 45% de nuestra red de distribución (340 puntos de medida). En manos de los operadores permite descubrir en pocos minutos, si no segundos, el origen de las quejas de los clientes debidas a huecos de tensión y su posible cotejo con disparos fortuitos y condiciones meteorológicas severas. Asimismo, permite realizar un estudio pro-activo del estado de la red encontrando posibles elementos defectuosos y futuras fuentes de fallos.

Este artículo pretende dar una idea genérica de solo algunas de las características principales de este sistema, sin incurrir en excesivos detalles que, por otra parte, harían la exposición excesivamente larga.

INFRAESTRUCTURA

Basándonos en nuestra experiencia previa decidimos concentrar nuestros esfuerzos en equipos de instalación permanente en subestaciones AT/MT³. En principio parece una elección adecuada ya que la mayoría de nuestros clientes se alimentan en los niveles de MT² (15 a 28 kV), exceptuando, claro está, los de menor potencia que se conecta directamente en BT³. Desechamos desde un principio las campañas de medida, por el coste que acarrea de mano de obra y los considerables problemas logísticos que también conllevan. Además, gracias a la monitorización permanente de nuestra red de distribución podíamos conseguir mejorar

1 Alta/Media tensión.

2 Media tensión.

3 Baja tensión.

4 3306.02 APLICACIONES ELECTRICAS

i GNU General Public License.

ii Berkeley Software Distribution.

iii IEC 61000-4-30:2003 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.

la calidad global tanto de ésta como de la red de transmisión. No obstante, el alcance del proyecto inicial ha sido superado con creces y actualmente también se están cubriendo los niveles superiores en AT⁴ (50, 66, 132 y 220 kV).

En relación a la calidad de los equipos, se escogió desde un primer momento aquellos de mayores prestaciones, etiquetados como "clase A" según la norma IEC 61000-4-30^{iv}. Esta decisión estaba fundamentalmente soportada por la reproducibilidad de las medidas de flicker.

La infraestructura de telecomunicaciones también jugó un papel importante desde un primer momento. Frente a soluciones habituales basadas en llamadas telefónicas punto a punto a los equipos, decidimos aventurarnos en un nuevo desarrollo basado en las redes públicas GSM/GPRS. La principal mejora consistió en que los equipos de medida comunicaban directamente con nuestro servidor vía internet, con una cadencia típica de tan solo una hora. De esta manera se conseguía que la información recibida fuera muy reciente y se pudiesen realizar análisis casi en tiempo real de lo que había sucedido en nuestra red.

ARQUITECTURA

Hay que destacar que la arquitectura del sistema no está restringida a ninguna marca comercial específica. De hecho, no se emplea ni siquiera software de los fabricantes de los equipos para procesar las medidas por éstos recogidas. De esta forma mantene-mos una puerta abierta al futuro, donde aparecerán equipos con mayores prestaciones y sistemas de comunicación más potentes y versátiles.

El diseño del centro de datos es otro componente central del sistema. Partimos de la premisa que con tal cantidad de equipos de medida y datos, debíamos conseguir una arqui-

tectura robusta y fiable. Nuestra percepción sobre el "estado del arte" de los sistemas de medida de calidad de onda era (y aún hoy lo sigue siendo) bastante negativa; en gran parte estos sistemas están creados por los propios fabricantes de los equipos de medida, restringiéndose por tanto a una marca comercial. Además, queríamos obtener un acceso muy rápido a la información, típicamente de sólo varios segundos, aún a pesar de contener grandes cantidades de información. Tampoco resultaba admisible el guardar y borrar información obsoleta, por cuanto no permitiría realizar estudios con varios años de alcance; típicamente partimos de la necesidad de poder mantener una base de datos de al menos 10 años manteniendo los niveles de velocidad de acceso.

desequilibrio, entre otros), medio millón de registros de huecos, sobretensiones e interrupciones por fase, 6 millones de rayos y 4 millones de registros de medidas meteorológicas. Simultáneamente los tiempos típicos de acceso no superan los 4 ó 5 segundos.

La arquitectura física del sistema consiste en:

- Router ADSL con IP pública y fija.
- Router, cortafuegos y redireccionador NAT.
- Servidor FTP y colector de rayos y variables meteorológicas.
- Servidor de apoyo encargado de los backups y la supervisión automática del sistema.
- Servidor principal haciendo correr la base de datos SQL maestra, un servidor de aplicaciones web y los



fig. 1 Interfaz web.

Actualmente nuestra base de datos contiene unos 40 millones de registros complejos de medidas cada 10 minutos (equivalente a unos 4000 millones de medidas monofásicas de valores eficaces, armónicos, flicker y

programas encargados del procesado de las fuentes de información.

- Servidor de respaldo, capaz de reemplazar al servidor principal en caso de desastre o por labores de mantenimiento.

iv <http://www.freebsd.org>
v <http://www.postgresql.org>
vi <http://www.python.org>
vii <http://www.zope.org>

Todo el software está sujeto a licencias de tipo "libre", ya sea GPL o BSD. El sistema operativo de todas las máquinas es FreeBSD⁴, casi íntegramente sobre arquitectura de 64 bits. El gestor de base de datos es PostgreSQL⁵. El lenguaje de programación empleado para el procesado de la información es Python⁶, corriendo además la plataforma de contenidos web sobre Zope⁷.

UTILIZACIÓN

Respecto al interfaz de usuario, consiste en una simple página web, de manera que los cambios que se realizan en el sistema son automáticamente visualizados. No hay necesidad, por tanto, de instalar complicados programas de análisis en las computadoras de los usuarios finales.

En lugar de desarrollar una herramienta universal para que cualquiera pudiera realizarse un informe complejo a medida, decidimos crear informes relativamente simples siguiendo las recomendaciones de los usuarios. De esta manera se conseguiría ver resultados claros y directos para el operador con sólo unos "golpes de ratón". A continuación se muestran algunos de estos informes tipo:

Tensiones

Las tensiones eficaces pueden representarse en función del tiempo, en valor absoluto o como un porcentaje de la nominal, lo cuál permite detectar casi inmediatamente salidas de rango.

forme se analizan las tensiones en ventanas de 2 horas, detectándose oscilaciones excesivas que suelen apuntar a reguladores averiados o fuera de servicio. A modo de ejemplo, el gráfico siguiente muestra una oscilación muy acusada durante unos po-

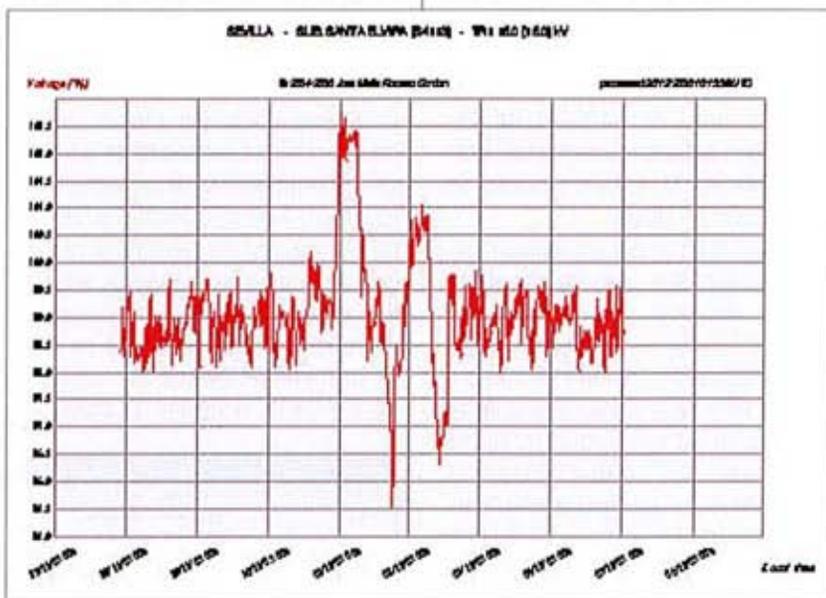


fig. 2 Curva de tensiones.

Una funcionalidad que ha demostrado ser de gran utilidad es la detección de posibles reguladores de tensión de barra defectuosos, lo cuál redundaría en un mejor control de la tensión final a los clientes. En este in-

cos días, producida por estar el regulador fuera de servicio.

Armónicos

Probablemente los armónicos son un tema recurrente de todos los estudios de calidad de onda. Desde el punto de vista de compañía eléctrica el principal problema aparece con las resonancias de los bancos de condensadores de la subestación. Suelen darse ante ciertas combinaciones de tamaño de transformador (o trafos en paralelo) y de los condensadores, observándose una subida casi automática de la distorsión de la onda de tensión. El siguiente ejemplo muestra un informe tipo que incluye simultáneamente las distorsiones de dos trafos estando o no en paralelo, así como la entrada y salida de los condensadores. Se observa de forma casi automática que en este caso deben funcionar los dos trafos en paralelo junto a la batería, produciéndose en caso contrario una fuerte resonancia.

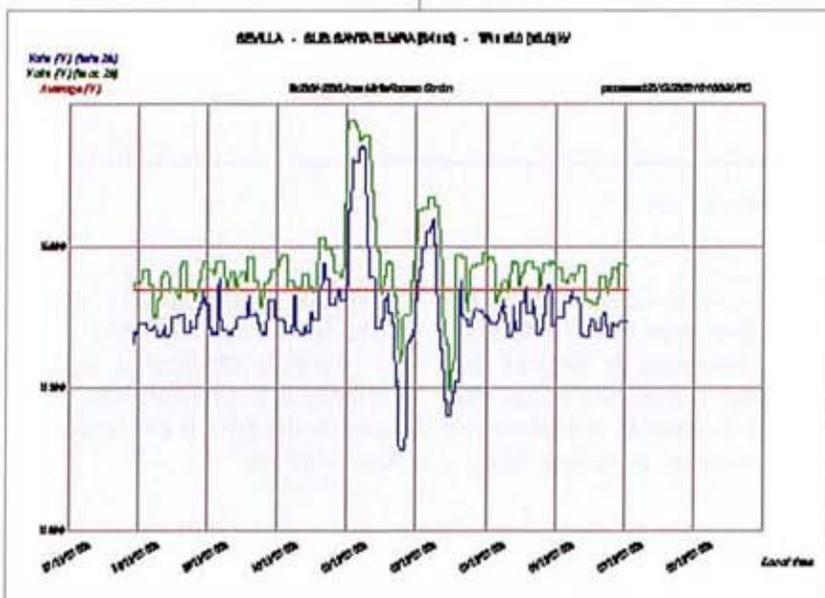


fig. 3 Gráfica de envolventes de 2 horas.

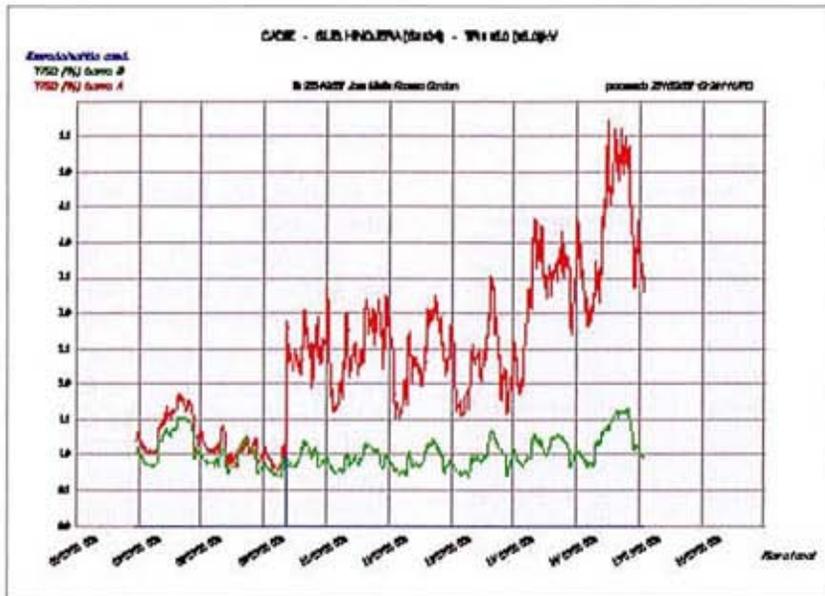


fig. 4 Gráfica de armónicos y resonancias.

Otro importante problema son las pérdidas ocasionadas en el transformador a consecuencia de los armónicos. Si bien no aparentan ser muy grandes, en un largo periodo de tiempo el efecto económico puede resultar significativo. A modo de ejemplo se muestran las pérdidas estimadas acumuladas en un transformador a consecuencia de su nivel de armónicos, utilizándose como base el número de horas equivalentes a plena carga:

Meteorología

La monitorización meteorológica es otra característica principal de este sistema. Mediante el acceso a estaciones meteorológicas públicas es posible su asociación con la subestación más cercana y, por tanto, conocer las condiciones en que se produjo cualquier falta eléctrica en la

red. Actualmente se puede acceder a mediciones de temperatura, presión, velocidad del viento, humedad, visibilidad, punto de condensación, radiación solar y precipitaciones para un total de 133 estaciones, con una resolución que abarca desde 30 minutos a 1 día.

Rayos

La actividad eléctrica atmosférica es registrada gracias a información facilitada por el Instituto Nacional de Meteorología mediante una conexión permanente con sus servidores, observándose un retraso típico de sólo varios segundos desde que el rayo cae hasta que es registrado. A modo de ejemplo se muestra a continuación un informe automático con una serie de rayos (en amarillo) y huecos (en rojo) ocurridos en un intervalo de ± 5 segundos, lo cuál permite aventurar



fig. 6 Mapa de rayos y huecos.

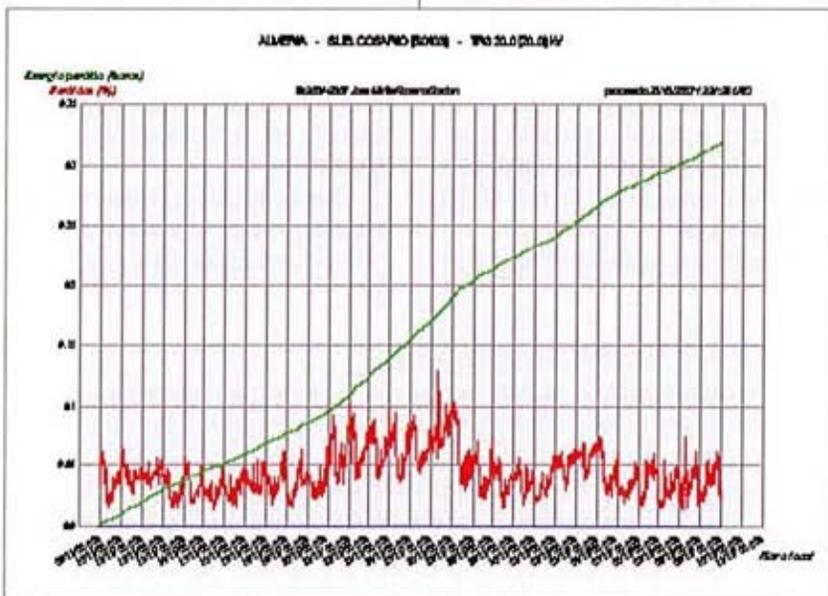


fig. 5 Pérdidas energéticas por armónicos.

que la causa más probable de estas faltas han sido precisamente estas descargas atmosféricas.

SCADA

Todas las maniobras y disparos fortuitos en la red son automáticamente almacenados en la base de datos. Esto permite realizar un posterior cotejo entre las perturbaciones registradas y estas maniobras o disparos.

Huecos de tensión, interrupciones y sobretensiones

Otra de las funcionalidades más importantes del sistema consiste en el registro y análisis de huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones. Con el término hueco de ten-

sión se alude a una bajada del valor eficaz de la tensión de al menos un 10% y durante no menos de 10 ms.

Se comprueban los disparos fortuitos cercanos en el espacio y en el tiempo.

próximas, tales como las precipitaciones diarias.

A modo de ejemplo se muestra el siguiente registro:

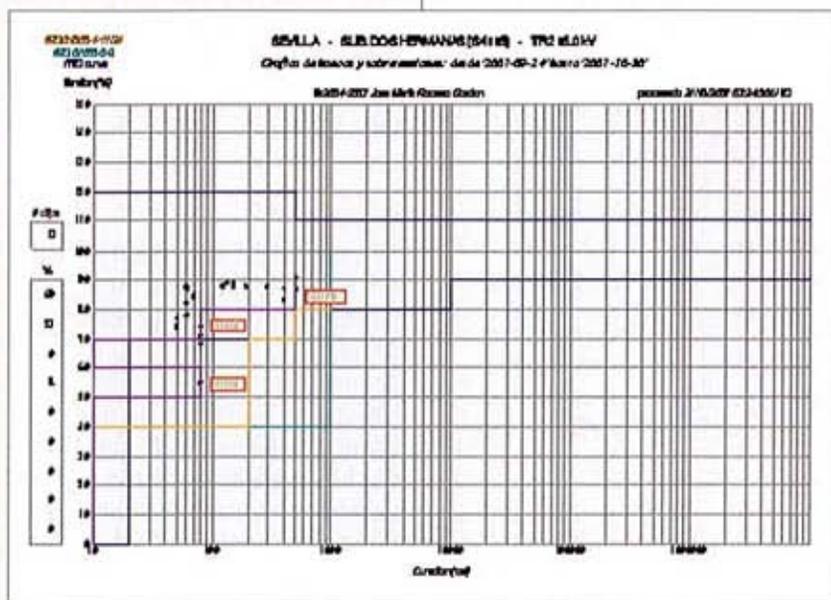


fig. 7. Huecos de tensión sobre curvas de inmunidad.

Típicamente los huecos son producidos por cortocircuitos en la red o arranque de grandes motores o cargas. Las sobretensiones que son registradas consisten, por otra parte, en subidas del valor eficaz de la tensión de al menos un 10% y de duración superior a 10 ms. Estos eventos pueden ser representados gráficamente en un diagrama tensión-tiempo, muy útil para su comparación con determinadas curvas o ensayos de inmunidad tales como ITIC^{viii} o IEC 61000-4-11/34^{ix}.

Tal y como se había comentado con anterioridad, cada hueco, interrupción o sobretensión es cotejado automáticamente con todas las fuentes de información disponibles en la base de datos. En concreto:

Para cada uno de los disparos anteriores, se buscan los rayos más

El significado exacto del registro anterior sería:

- Se produjo un hueco de duración 90 ms cuya tensión mínima fue del 73% y media del 92%, resultando afectada sólo la tensión fase-fase marcada como B. Según el borrador de Instrucciones Técnicas Complementarias al R.D. 1955/2000^x sería clasificado como pequeño. La comparación con la curva de inmunidad ITIC revela que cae dentro de su zona de tolerancia (la tensión residual es el 90% de la profundidad del máxima que marca la curva para ese tiempo).
- La causa más probable del hueco es el disparo de la propia línea AGUA_LEPE. Asimismo se ha visto afectada una línea por un rayo de 48 kA a 3 km de la subestación.

- Simultáneamente se produce el disparo de la línea PIEDRAS de 66 kV

Spark (kA)	Proximity (km)	Map	Substation	ElementLine	Measuring error (ms)	kV	Distance (km)	Line affected by lightning	kA
-48	3	Mapa	SUS. LEPE SUS. MACHOS	AGUA_LEPE PIEDRAS	-28 -26	15.0 66.0	0.0 1.0	1	48.0
-48	3	Mapa	SUS. LEPE SUS. MACHOS	AGUA_LEPE PIEDRAS	-28 -26	15.0 66.0	0.0 1.0	1	48.0
Weather:		Distance (km)	how old	Precipitation (mm/day)	Distance (km)	how old			
1azr		22	0.20.00	26	1	00000			
1azr		21	0.20.00	26	9	00000			

fig. 8. Detalle de un cotejo de un hueco con otras fuentes de información.

próximos, también en el dominio temporal y espacial, así como aquellos cuya zona elíptica de influencia atraviesa alguno de los tramos de las líneas cercanas.

Condiciones meteorológicas más

en la subestación MACHOS, probablemente por la propagación del rayo aguas arriba.

- Las condiciones meteorológicas más cercanas se registraron a 22 km y 20 minutos antes del suceso, iden-

viii Information Technology Industry Council, <http://www.itic.org/technical/iticurv.pdf>

ix EN IEC 61000-4-11:1994 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 11: Voltage Dips, short Interruptions, and voltage variations immunity tests for equipment with input current less than 16 A per phase.

EN IEC 61000-4-34:2005 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 11: Voltage Dips, short Interruptions, and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.

x REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Week begins	Dips/s well					Voltage [%]				
	Dips	Interruptions	Time I	Within ITC	CP95%	MIN	MAX	Average	Timeouts [ms]	
2004-01-01	1	0	1	1	91.51	91.24	91.99	94.83	490	
2004-01-08	4	0	4	4	94.37	92.20	94.60	94.74	530	
2004-01-15	9	0	9	9	94.49	92.27	97.06	95	520	
2004-01-22	4	0	3	4	94.20	92.17	97.00	94.41	440	
2004-01-29	1	0	1	1	91.44	92.20	97.83	94.99	380	
2004-01-05	5	0	5	5	94.12	92.2	94.74	94.58	550	

THD [%]					Uiba base [%]				
CP95%	MIN	MAX	Average	Time=1% [min]	CP95%	MIN	MAX	Average	Time=2% [min]
1.12	0.48	1.93	1.01	0	0.47	0.31	0.59	0.38	0
1.81	0.54	2.24	1	0	0.47	0.29	0.54	0.39	0
1.5	0.44	1.87	0.97	0	0.54	0.37	0.44	0.41	0
1.92	0.52	2.32	1.02	0	0.5	0.28	0.59	0.39	0
1.52	0.49	2.01	0.97	0	0.48	0.28	0.54	0.4	0
1.18	0.51	1.44	0.81	0	0.48	0.31	0.54	0.4	0

Flicker (Pk)				
CP95%	MIN	MAX	Average	Time=1% [h]
0.14	0.17	0.41	0.34	0
0.3	0.17	0.44	0.25	0
0.39	0.18	1.72	0.3	4
0.34	0.17	1.23	0.27	2
0.14	0.17	0.51	0.25	0
0.35	0.14	0.99	0.23	0

tab. 1 Detalles semanales de un punto de medida.

tificadas con el nombre genérico "haze" (neblina). Ese mismo día cayeron 26 l/m².

tiempo fuera de umbrales, desequilibrio, flicker, etc. De esta manera se puede tener una visión resumida y

Alarmas o avisos

Las alarmas o indicadores de sistema pretenden dar al operador una

Gracias al empleo de una base de datos versátil con acceso SQL es posible el realizar estudios analíticos complejos

Contraste con la norma UNE-EN 50160^{xi}

Es posible comprobar los valores de los índices establecidos en esta norma, en concreto, percentiles 95% de tensión, distorsión armónica,

clara de cada uno de los puntos de medida. El cálculo se realiza semanalmente, tal y como indica la propia norma.

idea de la gravedad de ciertos fenómenos acaecidos recientemente, tales como la caída de rayos, el registro de tensiones armónicas muy elevadas u oscilaciones excesivas de tensión que apuntan a un fallo de los reguladores automáticos de subestación. Por ejemplo se muestra a continuación un informe automático con los posibles puntos que presentan precisamente este último fallo:

Provincia	Subestacion/CT	Medida	kV	Inctension (%)	Inctension (V)
GRANADA		TR2	20.0	9.0	1793.0
MALAGA		TR2	20.0	8.0	1667.0
SEVILLA		TR1	15.0	8.0	1265.0

tab. 2 Avisos/alarmas sobre regulación incorrecta de tensión.

xi UNE-EN 50160:2001 Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.

Estos resultados son empleados en los grupos de trabajo internacionales sobre huecos de tensión en los que participa ENDESA

ESTUDIOS COMPLEJOS

Asimismo, gracias al empleo de una base de datos versátil con acceso

SQL es posible el realizar estudios analíticos complejos. El objeto de estos estudios no es la operación, sino

llos aspectos más relevantes de arquitectura, interacción con el usuario y cotejo con fuentes externas meteorológicas y SCADAs. Se ha especial hincapié en la utilidad del sistema desde el punto de vista de la explotación de la red.

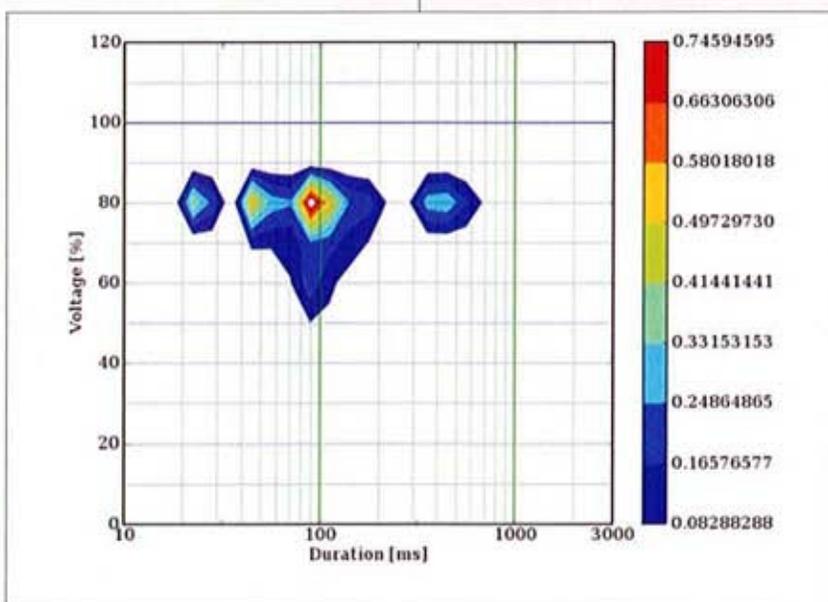
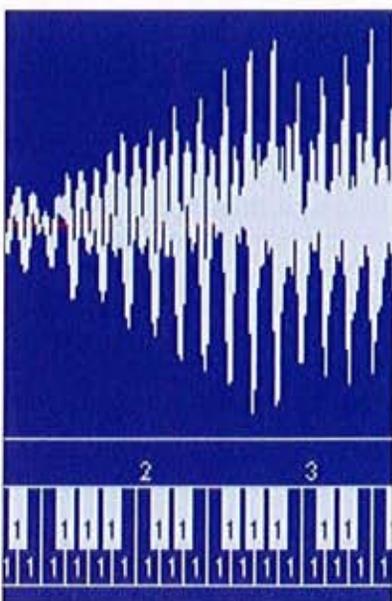


fig. 9 Curva de densidad de huecos de tensión.



el análisis más detallado de nuestra red. Estos resultados son empleados en los grupos de trabajo internacionales sobre huecos de tensión en los que participa **ENDESA**. A modo de ejemplo se muestra a continuación un diagrama de densidad de huecos por sitio y año sobre un plano tensión-tiempo, asignándose un cierto color dependiendo de la frecuencia de aparición de los huecos:

CONCLUSIÓN

En este artículo se ha pretendido dar una breve descripción del sistema de medida y análisis de calidad de onda actualmente en explotación en Sevillana **ENDESA**, incluyendo aque-

BIBLIOGRAFÍA

- GNU General Public License.
- Berkeley Software Distribution.
- IEC 61000-4-30:2003 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.
- <http://www.freebsd.org>
- <http://www.postgresql.org>
- <http://www.python.org>
- <http://www.zope.org>
- Information Technology Industry Council, <http://www.itic.org/technical/it-curv.pdf>
- EN IEC 61000-4-11:1994 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 11: Voltage Dips, short Interruptions, and voltage variations immunity tests for equipment with input current less than 16 A per phase.
- EN IEC 61000-4-34:2005 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 11: Voltage Dips, short Interruptions, and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.
- REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- UNE-EN 50160:2001 Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. ■