

MANUAL DE USO

ANALIZADOR DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

PQM-700



MANUAL DE USO

ANALIZADOR DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA PQM-700



**SONEL S.A.
Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polonia**



Debido al constante desarrollo de los productos, el fabricante se reserva el derecho de hacer cambios en las funcionalidades, el uso y los datos técnicos. Este manual de uso describe los analizadores en la versión del firmware 1.21 y el software Sonel Analysis en la versión 4.7.1.

ÍNDICE

1 Información general.....	5
1.1 Seguridad.....	5
1.2 Característica general.....	6
1.3 Alimentación del analizador.....	8
1.4 Estanqueidad y funcionamiento en condiciones exteriores.....	8
1.5 Montaje en el carril DIN.....	9
1.6 Parámetros medidos.....	10
1.7 Conformidad con las normas.....	12
2 Funcionamiento del analizador.....	13
2.1 Botones.....	13
2.2 Luces indicadoras.....	13
2.3 Encendido y apagado.....	14
2.4 Función del apagado automático.....	14
2.5 Conexión con PC y transmisión de datos.....	14
2.6 Indicación de una conexión errónea.....	15
2.7 Advertencia de una tensión o corriente demasiado alta.....	15
2.8 Realización de mediciones.....	16
2.8.1 Inicio y detención del registro.....	16
2.8.2 Tiempos de registro aproximados.....	16
2.9 Sistemas de medición.....	17
2.10 Corriente de arranque.....	23
2.11 Bloqueo de botones.....	23
2.12 Modo de espera.....	23
2.13 Actualización de firmware.....	23
2.13.1 Actualización automática.....	23
2.13.2 Actualización manual.....	24
3 Programa "Sonel Analysis".....	24
4 Estructura y métodos de medición.....	25
4.1 Entradas de tensión.....	25
4.2 Entradas de corriente.....	25
4.2.1 Integrador digital.....	25
4.3 Muestreo de la señal.....	26
4.4 Sincronización PLL.....	26
4.5 Medición de frecuencia.....	26
4.6 Detección de eventos.....	27
5 Fórmulas de cálculo.....	29
5.1 Red monofásica.....	29
5.2 Red bifásica.....	33
5.3 Red trifásica tipo estrella con N.....	35
5.4 Red trifásica tipo estrella y triángulo sin N.....	38
5.5 Métodos para promediar los parámetros.....	40
6 Datos técnicos.....	41

6.1	<i>Entradas</i>	41
6.2	<i>Muestreo y reloj RTC</i>	42
6.3	<i>Parámetros medidos: precisión, resolución y rango</i>	42
6.3.1	<i>Condiciones de referencia</i>	42
6.3.2	<i>Tensión</i>	42
6.3.3	<i>Corriente</i>	43
6.3.4	<i>Frecuencia</i>	44
6.3.5	<i>Armónicos</i>	44
6.3.6	<i>Potencia y energía</i>	44
6.3.7	<i>Estimación de incertidumbre de medición de potencia y energía</i>	45
6.3.8	<i>Parpadeo de luz</i>	46
6.3.9	<i>Desequilibrio</i>	47
6.4	<i>Detección de eventos: valores eficaces de tensión y corriente</i>	47
6.5	<i>Detección de eventos: otros parámetros</i>	47
6.5.1	<i>Histéresis de detección de eventos</i>	48
6.6	<i>Medición de corriente de arranque</i>	48
6.7	<i>Registro</i>	48
6.8	<i>Alimentación de la red, batería y calentador</i>	49
6.9	<i>Redes compatibles</i>	50
6.10	<i>Pinzas de corriente compatibles</i>	50
6.11	<i>Comunicación</i>	50
6.12	<i>Condiciones ambientales y otros datos técnicos</i>	51
6.13	<i>Seguridad y compatibilidad electromagnética</i>	51
6.14	<i>Estándares</i>	51
7	<i>Limpieza y mantenimiento</i>	52
8	<i>Almacenamiento</i>	52
9	<i>Desmontaje y utilización</i>	52
10	<i>Accesorios adicionales</i>	53
11	<i>Fabricante</i>	54

1 Información general

Los siguientes símbolos internacionales se utilizan en el analizador y en este manual:



Advertencia;
Véase la explicación en el manual



Toma de tierra



Corriente/Tensión alterna



Corriente/Tensión continua



Doble aislamiento (clase de protección)



Declaración de conformidad con las directivas de la Unión Europea (Conformité Européenne)



No eliminar junto con otros residuos urbanos



Información relativa al reciclaje



Conformidad con las normas australianas

1.1 Seguridad



¡Advertencia!

Para asegurar el servicio seguro y la exactitud de los resultados obtenidos se debe evitar la descarga eléctrica o incendio, así como seguir estas recomendaciones:

- Antes de empezar la utilización del analizador es necesario familiarizarse detalladamente con el presente manual y cumplir con las normas de seguridad y las recomendaciones del fabricante.
- Un uso del analizador distinto del especificado en este manual puede dañar el dispositivo y ser fuente de grave peligro para el usuario.
- Analizadores pueden ser utilizados solamente por el personal cualificado que esté facultado para realizar trabajos con las instalaciones eléctricas. El uso del dispositivo por personas no autorizadas puede causar su deterioro y ser fuente de grave peligro para el usuario.
- Se prohíbe utilizar el dispositivo en redes y equipos donde haya condiciones especiales, por ejemplo, donde exista el riesgo de explosión e incendio.
- Antes de iniciar el trabajo, se debe comprobar si el analizador, conductores, sondas de corriente y otros accesorios están libres de daños mecánicos. Prestar especial atención a las conexiones.
- Se prohíbe utilizar:
 - ⇒ el dispositivo deteriorado y que no funciona total o parcialmente,
 - ⇒ los cables con el aislamiento dañado,
 - ⇒ aparato y accesorios dañados mecánicamente.
- Se prohíbe alimentar el dispositivo con otras fuentes de energía que las mencionadas en este manual.
- No conectar las entradas del analizador a voltajes más altos que los valores nominales.
- Utilizar accesorios y sondas de medición con los parámetros nominales adecuados y la categoría de medición apropiada para el circuito examinado.
- No exceder los parámetros nominales de la categoría de medición más baja (CAT) del equipo de medición utilizado que se compone del analizador, sondas y accesorios. La categoría de medición de todo el equipo es la misma que el componente con la categoría de medición más baja.
- Si es posible, se debe conectar el analizador a los circuitos con la alimentación apagada.

- **La apertura de las tapas de enchufes del dispositivo causa la pérdida de estanqueidad, lo que en caso de condiciones meteorológicas desfavorables puede causar el deterioro del instrumento, así como exposición o poner al usuario en peligro de choque eléctrico.**
- **No trasladar el analizador sujetándolo por los cables.**
- **No desenroscar las tuercas de los prensaestopos con cables porque están pegadas. El desenroscamiento hace que se pierda la garantía.**
- **Las reparaciones pueden ser realizadas sólo por el servicio autorizado.**

El analizador está equipado con una batería interna de Li-Ion que ha sido probada por un laboratorio independiente y tiene el certificado de ensayos de compatibilidad de parámetros con la norma 38.3 - "Recomendaciones de la ONU para el transporte de mercancías peligrosas. Manual de Pruebas y Criterios", quinta edición publicada por las Naciones Unidas (ST/SG/AC.10/11/Rev.5). Por lo tanto, el analizador está aprobado para el transporte aéreo, marítimo y por carretera.

1.2 Característica general

El analizador de calidad eléctrica PQM-700 (Fig. 1) es un producto de alta tecnología que permite la medición universal, el análisis y el registro de los parámetros de las redes eléctricas de 50/60 Hz y la calidad de la energía eléctrica de acuerdo con la normativa europea EN 50160. El analizador cumple plenamente con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 clase S.

El analizador está equipado con 4 cables con enchufe tipo banana marcados como L1, L2, L3, N. El rango de tensiones medidas por los cuatro canales de medición es como máximo de ± 1150 V. Este rango se puede aumentar utilizando los transformadores adicionales externos de tensión.

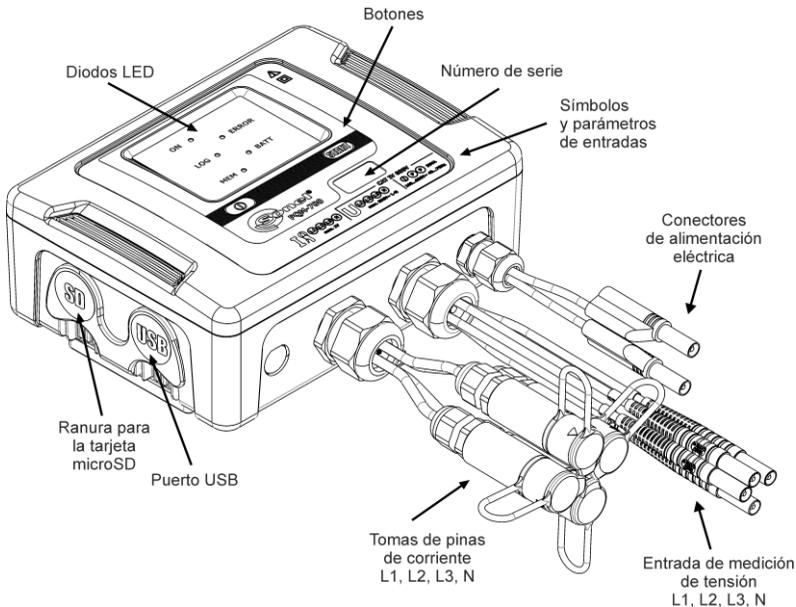


Fig. 1. Analizador de calidad de energía eléctrica PQM-700. Vista general.

La corriente se mide mediante cuatro entradas de corriente introducidas en los cables cortos terminados con enchufes para pinzas. A ellos se pueden conectar las pinzas flexibles con el rango

nominal de hasta 6000 A y las pinzas rígidas. También en caso de la corriente, el rango nominal puede ser cambiado por los transformadores adicionales.

El dispositivo tiene una tarjeta de memoria extraíble estándar de 2 GB. Los datos de la tarjeta se pueden leer utilizando la conexión USB o el lector externo.

Nota

La tarjeta SD sólo debe ser extraída cuando el analizador está apagado. La extracción de la tarjeta durante el uso del analizador puede causar la pérdida de datos importantes.

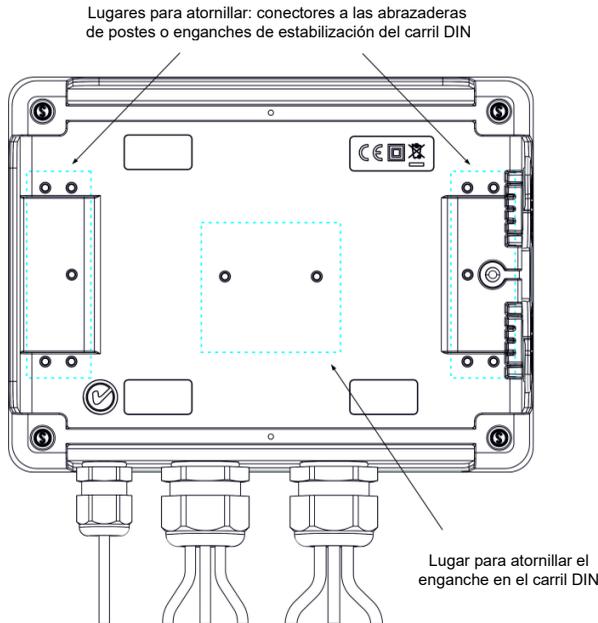


Fig. 2. La parte trasera del analizador PQM-700.

Los parámetros registrados se dividen en grupos que se pueden incluir o excluir del registro de forma independiente, lo que permite el uso racional de espacio en la tarjeta de memoria. Los parámetros no registrados no ocupan espacio por lo que se prolonga bastante el tiempo de registro de otros parámetros.

El analizador PQM-700 dispone de una fuente de alimentación interna con un amplio rango de tensiones de entrada 100...415 V AC (140...415 V DC) con los conectores tipo banana independientes.

Una característica importante es su posibilidad de trabajo en condiciones atmosféricas desfavorables, el analizador se puede instalar directamente en los postes eléctricos. Asegura la estanqueidad de clase IP65 y el rango de temperatura de trabajo es -20 °C...+55 °C.

La batería interna de iones de litio asegura el funcionamiento ininterrumpido en caso de pérdida de tensión de alimentación.

La interfaz de usuario ofrecen 5 diodos LED y 2 botones.

1 Información general

El elemento que muestra todas las posibilidades del dispositivo es el software de PC "Sonel Analysis".

La comunicación con el ordenador es posible con una conexión USB que asegura la velocidad de transmisión de hasta 921,6 kbit/s.

1.3 Alimentación del analizador

El analizador tiene una fuente de alimentación incorporada con el rango de tensiones nominales de 100...415 V AC o 140...415 V DC. La fuente de alimentación tiene los cables independientes (en color rojo) marcados con la letra P (de la palabra inglesa *power* - energía). Para evitar que el alimentador se dañe si se intenta alimentarlo con una tensión por debajo del rango especificado, se desactiva con las tensiones de entrada por debajo de unos 80 V AC (aprox. 110 V DC).

Para mantener la alimentación durante los cortes de energía sirve la batería interna. La batería se carga cuando existe tensión en los terminales del alimentador de la red. La batería mantiene la alimentación hasta 6 h a la temperatura entre -20°C...+55°C. Cuando la batería se agota, el medidor detiene el trabajo en curso (p.ej. registro) y se apaga de emergencia. Cuando vuelve la alimentación, el analizador sigue con el trabajo que ha sido interrumpida.

Nota

La batería puede cambiarse solamente en el servicio autorizado.

1.4 Estanqueidad y funcionamiento en condiciones exteriores

El analizador PQM-700 está diseñado para trabajar en condiciones atmosféricas desfavorables, puede ser instalado directamente en los postes eléctricos. Para su instalación hay dos abrazaderas con hebillas y dos conectores de plástico. Los conectores se atornillan a la parte trasera de la carcasa y por los huecos se deben pasar las abrazaderas.

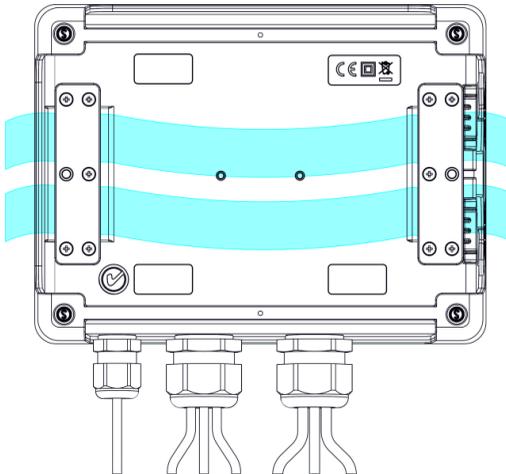


Fig. 3. Conectores y abrazaderas para el montaje del analizador en el poste.

El analizador asegura la estanqueidad de clase IP65 y el rango de temperatura de trabajo es de -20°C...+55°C.



Nota

Para asegurar la clase de estanqueidad IP65 declarada es necesario cumplir con las siguientes normas:

- Estancar los tapones del puerto USB y de la tarjeta microSD.
- Estancar los enchufes hembras de pinzas no utilizados con tapones de silicona.

A la temperatura ambiente inferior a 0°C y si la temperatura interna también está por debajo de este umbral, se enciende el calentamiento del dispositivo con un calentador interno cuyo objetivo es mantener dentro la temperatura positiva en el rango de temperatura ambiente de -20°C...0°C. El calentador se alimenta de la fuente de red incorporada y su potencia se limita a unos 5 W.

Debido a la batería de iones de litio incorporada, su carga se bloquea cuando la temperatura de la batería está fuera del rango de -10°C...60°C (el estado de carga en el programa Sonel Analysis se muestra como "carga suspendida").

1.5 Montaje en el carril DIN

En el conjunto está suministrado un enganche para montar el analizador en el carril DIN estándar. El enganche se atornilla a la parte trasera del analizador utilizando los tornillos suministrados. En el conjunto también se suministran los enganches de posicionamiento (excepto los enganches para montar el analizador en el poste) que deben ser instalados con el fin de aumentar la estabilidad de la fijación. Los enganches tienen unos ganchos especiales que se sujetan en el carril DIN.

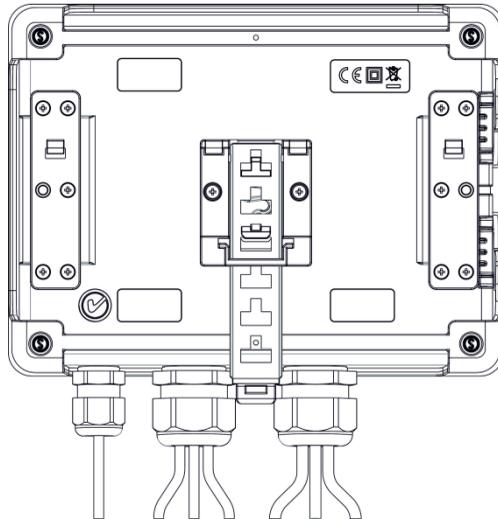


Fig. 4. La parte trasera del analizador con los elementos de montaje en el carril DIN.

1.6 Parámetros medidos

El analizador PQM-700 permite medir y registrar los siguientes parámetros:

- tensiones eficaces de fase y entre fases en el rango hasta 760 V (pico ± 1150 V),
- corrientes eficaces:
 - hasta 6000 A (pico hasta ± 20 kA) utilizando las pinzas flexibles,
 - hasta 1400 A utilizando las pinzas rígida,
- factores de cresta de corriente y tensión,
- frecuencia de red en el rango de 40...70 Hz,
- potencias y energías activas, reactivas, aparentes, potencia de distorsión,
- componentes armónicas de tensiones y corrientes (hasta 50ª),
- factor de distorsión armónica THD_F y THD_R para corriente y tensión,
- factor de potencia, $\cos\phi$, $\tan\phi$,
- factores de desequilibrio de redes trifásicas y componentes simétricas,
- indicadores de parpadeo de luz P_{st} y P_{It},
- corriente de arranque hasta 60 s.

Los parámetros escogidos se agregan (promedian) según el tiempo elegido por el usuario y pueden ser guardados en la tarjeta de memoria. Además del valor medio se puede registrar el valor mínimo y máximo durante el intervalo de promediación y el valor instantáneo durante el registro de datos.

El bloque de detección de eventos también está desarrollado. Los eventos típicos en la norma EN 50160 son: hueco (es decir, disminución del valor eficaz de tensión por debajo del 90% del valor nominal de tensión), crecimiento (aumento por encima del 110% del valor nominal) e interrupción (bajada de tensión por debajo del umbral del 5% del valor nominal). El usuario no necesita introducir por sí mismo los ajustes definidos en la norma EN 50160, el programa permite la configuración automática del instrumento en modo de medición de calidad de energía de acuerdo con la norma EN 50160. El usuario puede utilizar la configuración propia, el programa ofrece toda la flexibilidad en este campo. La tensión es sólo uno de muchos parámetros, para los cuales se pueden definir los umbrales de detección de eventos. Por ejemplo, es posible configurar el analizador para que detecte la bajada del factor de potencia por debajo del umbral definido, también puede detectar cuando THD excede otro umbral, así como el noveno armónico de tensión excede la tensión del valor porcentual fijado por el usuario. El evento se guarda junto con el tiempo en el que apareció. En caso de eventos que exceden los umbrales de hueco, interrupción o crecimiento, y en caso de superar el valor mínimo y máximo para corrientes, se puede completar la información sobre la aparición del evento con una forma de onda de tensiones y corrientes. Se pueden guardar 2 periodos antes y 4 después del evento.

Las amplias posibilidades de configuración y la multitud de parámetros medidos hacen que el analizador PQM-700 sea un dispositivo extraordinariamente útil y poderoso para medir y analizar todo tipo de redes de alimentación y alteraciones que aparecen en ellas. Algunas de las características únicas de este dispositivo lo distinguen entre otros analizadores de este tipo disponibles en el mercado.

En la se presenta una especificación sumaria de los parámetros medidos por el analizador PQM-700 dependiendo del tipo de red.

Tabla 1. Los parámetros medidos para varias configuraciones de la red.

Tipo de red, canal		1-f		2-f				3-f estrella con N					3-f triángulo 3-f estrella sin N			
		L1	N	L1	L2	N	Σ	L1	L2	L3	N	Σ	L12	L23	L31	Σ
U	Tensión eficaz	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
U _{DC}	Componente constante de tensión	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
I	Corriente eficaz	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
I _{DC}	Componente constante de corriente	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
f	Frecuencia	•		•				•					•			
CF U	Factor de pico de tensión	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
CF I	Factor de pico de corriente	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
P	Potencia activa	•		•	•		•	•	•	•		•				•
Q ₁ , Q _B	Potencia reactiva	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
D, S _N	Potencia de distorsión	•		•	•		•	•	•	•		•				
S	Potencia aparente	•		•	•		•	•	•	•		•				•
PF	Factor de potencia	•		•	•		•	•	•	•		•				•
cosφ	Factor de desplazamiento de fase	•		•	•		•	•	•	•		•				
tanφ _{C-} , tanφ _{L+} , tanφ _{L-} , tanφ _{C+}	Factor de tangente φ (4 cuadrantes)	•		•	•		•	•	•		•					• ⁽¹⁾
THD U	Factor de contenidos armónicas de tensión	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
THD I	Factor de contenidos armónicas de corriente	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
E _{P+} , E _{P-}	Energía activa (consumida y devuelta)	•		•	•		•	•	•	•		•				•
E _{QC-} , E _{QL+} , E _{QL-} , E _{QC+}	Energía reactiva (4 cuadrantes)	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
E _s	Energía aparente	•		•	•		•	•	•	•		•				•
U _{h1..Uh50}	Amplitudes de armónicos de tensión	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
I _{h1..Ih50}	Amplitudes de armónicos de corriente	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
Asimetría U, I	Componentes simétricas y factores de asimetría											•				•
P _{st} , P _{lt}	Indicadores de parpadeo de luz	•		•	•			•	•	•			•	•	•	

Notas: L1, L2, L3 (L12, L23, L31) significan las siguientes fases,

N significa la medición para el canal de corriente I_N dependiendo del tipo de parámetro,

Σ significa el valor total del sistema.

- (1) $N = \sqrt{S_g^2 - P^2}$ En las redes de 3 conductores, como la potencia reactiva total se calcula la potencia inactiva (ver el debate sobre la potencia reactiva en el documento "Calidad de alimentación – manual")

1.7 Conformidad con las normas

El analizador PQM-700 está diseñado para cumplir con los requisitos de las siguientes normas. Normas de medición de los parámetros de la red:

- IEC 61000-4-30:2011 - Compatibilidad electromagnética (EMC) - Técnicas de ensayo y de medida - Métodos de medida de la calidad de energía,
- IEC 61000-4-7:2007 – Compatibilidad electromagnética (EMC) - Técnicas de ensayo y de medida - Manual general de mediciones de armónicos e interarmónicos, así como de los instrumentos de medición aplicados para las redes de alimentación y los dispositivos conectados a estas redes,
- IEC 61000-4-15:2011 – Compatibilidad electromagnética (EMC) - Técnicas de ensayo y de medida- Medidor de parpadeo de luz - Especificaciones funcionales y de diseño,
- EN 50160:2010 – Parámetros de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.

Normas de seguridad:

- IEC 61010-1 – Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio. Parte 1: Requisitos generales

Normas de compatibilidad electromagnética:

- IEC 61326 – Equipos eléctricos para medida, control y uso en laboratorio. Requisitos de compatibilidad electromagnética (EMC):

El dispositivo cumple en su totalidad con los requisitos de la clase S según la norma IEC 61000-4-30. Los datos se resumen en la tabla presentada a continuación.

Tabla 2. Resumen del cumplimiento con las normas de los parámetros seleccionados

Agregación de mediciones en intervalos de tiempo	IEC 61000-4-30 Clase S: <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo básico de medición de parámetros (tensión, corriente, armónicos, asimetría) es el intervalo de 10 ciclos para el sistema de alimentación de 50 Hz y de 12 ciclos para el sistema de 60 Hz, • Intervalo de 3 s (150 ciclos para la frecuencia nominal de 50 Hz y 180 ciclos para 60 Hz), • Intervalo de 10 minutos.
Incertidumbre del tiempo de reloj	IEC 61000-4-30 Clase S: <ul style="list-style-type: none"> • Reloj de tiempo real incorporado y ajustado desde el programa "Sonel Analysis", sin sincronización GPS y por radio, • Exactitud del reloj superior a $\pm 0,3$ s/día
Frecuencia	Cumple con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 Clase S para el método y la incertidumbre de medición
Valor de la tensión de alimentación	Cumple con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 Clase S para el método y la incertidumbre de medición
Fluctuaciones de tensión (parpadeo de luz)	Método de medición e incertidumbre cumplen con los requisitos de la norma IEC 61000-4-15
Huecos, sobretensiones e interrupciones de tensión de alimentación	Cumplen con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 Clase S para el método y la incertidumbre de medición
Desequilibrio de tensión de alimentación	Cumple con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 Clase S para el método y la incertidumbre de medición
Armónicos de tensión y corriente	Método e incertidumbre de medición conforme con IEC 61000-4-7 clase I

2 Funcionamiento del analizador

2.1 Botones

El teclado del analizador se compone de dos botones: ON/OFF  y START/STOP . Para encender el analizador se debe pulsar el botón ON/OFF. El botón START/STOP se utiliza para iniciar y detener el registro.

2.2 Luces indicadoras

El analizador está equipado con cinco diodos LEDs que indican diferentes estados de trabajo:

- **ON** (verde) – el diodo se ilumina cuando el analizador está encendido. Durante el registro con el modo de espera activado, el diodo se apaga.
- **LOG** (amarillo) – indica el registro en curso. En modo de espera el diodo se enciende continuamente. Durante la grabación parpadea. Durante el registro con el modo de espera activado, se apaga y se enciende brevemente cada 10 segundos.
- **ERROR** (rojo) - el diodo que parpadea indica un problema potencial con la conexión a la red examinada o la incompatibilidad de la configuración activa con los parámetros de la red. Los criterios de control se muestran en la sección 2.6. La luz constante indica uno de los posibles errores internos del analizador (véase también la descripción a continuación de los estados adicionales).
- **MEM** (rojo) - la luz indica que o se pueden registrar los datos en la tarjeta de memoria. El diodo **MEM** se ilumina de forma continua después de llenar todo el espacio en la tarjeta de memoria. Véase también la siguiente descripción de estados adicionales.
- **BATT** (rojo) - estado de la batería. El parpadeo indica que la batería está baja (capacidad de 20% o menos). Cuando la batería está completamente descargada, el diodo ilumina durante 5 segundos (le acompaña una señal sonora) y después el analizador se apaga de emergencia.

Estados adicionales indicados por los diodos:

- La iluminación continua de diodos **MEM** y **ERROR** – no hay ninguna tarjeta de memoria, la tarjeta está dañada o error de tarjeta. Si los diodos se encienden al insertar la tarjeta de memoria en la ranura, puede significar que la tarjeta es incompatible con el analizador. En este caso no hay ninguna posibilidad de seguir trabajando con el analizador. El botón START  no está activo.
- La iluminación continua del diodo **ERROR** y el parpadeo del diodo **MEM** – la tarjeta no está formateada (faltan archivos requeridos por el analizador o archivos están dañados) - en este caso se puede pulsar el botón START  (está activo), que formateará la tarjeta. (NOTA: se borrarán todos los datos de la tarjeta). El analizador confirmará el inicio del formateo mediante un triple pitido. Si este proceso tiene éxito, los diodos **MEM** y **ERROR** se apagarán y el analizador estará listo para seguir trabajando.
- Diodo intermitente **ON** – en la tarjeta de memoria se ha detectado el archivo FIRMWARE.PQF con el archivo correcto de actualización de firmware del analizador. El usuario puede pulsar el botón START  para comenzar el proceso de actualización. Durante la actualización parpadean simultáneamente los diodos **ON** y **MEM**. Después de este proceso, el medidor se reinicia. La actualización del firmware se puede saltar presionando el botón ON/OFF  o esperando 10 segundos.

2.3 Encendido y apagado

- El analizador se enciende pulsando el botón . Se enciende el diodo verde **ON**. A continuación, el analizador realiza un auto-test y en caso de detectar errores internos se enciende el diodo **ERROR**, acompañado con una señal acústica larga (de 3 segundos), las mediciones se bloquean. Después de la auto-prueba, el medidor comienza comprobar si la conexión es correcta, si se detecta un error, parpadea cada 0,5 s el diodo **ERROR**, lo que no bloquea la posibilidad de nuevas medidas, sólo indica la incompatibilidad de la configuración del analizador con los parámetros de la red conectada.
- Si al activar el medidor se detecta la memoria completa, se enciende el diodo **MEM**, las mediciones se bloquean, sólo funciona el modo de lectura de los datos actuales.
- Si al encender, el medidor no detecta la tarjeta micro SD o detecta que está dañada, se enciende el diodo **ERROR** y **MEM** y las mediciones se bloquean.
- Si la prueba de conexión se ha realizado correctamente, al presionar  el medidor pasa al registro de acuerdo con el modo programado en el PC.
- El analizador se apaga al mantener pulsado el botón  durante 2 segundos, si no está activado el bloqueo de botones o del registro.

2.4 Función del apagado automático

Si el aparato durante al menos 30 minutos trabaja con la alimentación de la batería (sin alimentación de red) y no está en el modo de registro ni está conectado al ordenador, se apaga automáticamente para que la batería no se descargue.

El analizador se apaga automáticamente cuando la batería está completamente descargada. Este apagado de emergencia está precedido por la iluminación del diodo **BATT** durante 5 s y se lleva a cabo independientemente del modo en el que se encuentra el analizador. El registro se detiene en este caso. Cuando vuelve la tensión de alimentación, el registro se reinicia.

2.5 Conexión con PC y transmisión de datos

Al encender el medidor con el botón  el puerto USB está siempre activo.

- En el modo de lectura de los datos actuales, la actualización de datos se produce más de una vez cada 1 segundo en el programa del ordenador.
- Durante el registro es posible transmitir los datos ya almacenados en la memoria. Los datos se leen hasta el inicio de la transmisión.
- Durante el registro es posible ver los parámetros de red en el ordenador:
 - valores instantáneos de corriente, tensión, todas las potencias, valores sumarios para las tres fases,
 - armónicos y THD,
 - asimetría,
 - diagramas fasoriales para tensiones y corrientes,
 - transcurros de corriente y tensión dibujados en tiempo real.
- Durante la conexión con el PC, el botón  se bloquea a menos que el analizador trabaje en el activado modo de bloqueo de botones (p. ej. durante el registro), entonces también está bloqueado el botón .
- Para conectarse con el analizador se debe introducir su código PIN. El código predeterminado es 000 (tres cifras cero). El código PIN se puede cambiar mediante la aplicación *SoneI Analysis*.
- Si se introduce tres veces el código PIN incorrecto, se bloquea la transmisión de datos durante 10 minutos. Después de este tiempo es posible introducir de nuevo el código PIN.
- Si después de conectar al PC durante 30 segundos no tiene lugar ningún intercambio de datos entre el analizador y el ordenador, el analizador sale del modo de transmisión de datos y termina la conexión.

Notas

- Si mantiene pulsado durante 5 segundos los botones  y  causa que se ajuste el código PIN predeterminado (000).
- Si durante el registro está activado el bloqueo de botones, entonces este bloqueo tiene una prioridad mayor (primero hay que desbloquear de emergencia los botones para reajustar de emergencia el código PIN). El procedimiento se describe en otra sección.

El USB es una interfaz constantemente activa y no hay manera de desactivarla. Para conectarse con el analizador es necesario conectarse por el cable USB al ordenador (el puerto USB en el analizador se encuentra en el lado izquierdo y está protegido por una tapa estanca). Antes en el ordenador se debe instalar el software *Sonel Analysis* junto con los controladores.

La velocidad de transmisión es de hasta 921,6 kbit/s.

2.6 Indicación de una conexión errónea

Durante el trabajo, el analizador en modo continuo controla los parámetros medidos respecto al cumplimiento de la configuración actual. Sobre la base de varios criterios enumerados a continuación, el analizador controla la luz del diodo **ERROR**. Si el analizador no ha detectado incompatibilidad, este diodo permanece apagado. Si al menos uno de los criterios indica un posible problema, el diodo **ERROR** empieza a parpadear.

Los criterios utilizados por el analizador que detectan el error de conexión son los siguientes:

- desviación de la tensión RMS más que $\pm 15\%$ del valor nominal,
- desviación del ángulo de fase de la componente fundamental de tensión más de $\pm 30^\circ$ respecto al valor teórico con carga resistiva y equilibrada de la red (ver nota más abajo),
- desviación del ángulo de fase de la componente fundamental de corriente más que $\pm 55^\circ$ respecto al valor teórico con carga resistiva y equilibrada de la red (ver nota más abajo),
- desviación del valor de frecuencia de red más que $\pm 10\%$ del valor nominal de la frecuencia,
- en los sistemas trifásicos de 3 y 4 cables, el analizador también calcula la suma de todas las corrientes (valores instantáneos) y verifica si el total es cero. Esto ayuda a determinar si todas las sondas de corriente están conectadas correctamente (es decir, flechas en las sondas de corriente orientadas hacia la carga). Si la suma actual calculada del valor RMS es superior al 0,3% de I_{NOM} , se trata como un error y parpadea el LED **ERROR**.

Nota

La detección de error de fase requiere que la componente fundamental sea mayor o igual al 5% de la tensión nominal o el 1% del rango de corriente nominal. Si esta condición no se cumple, no se comprueba la exactitud de los ángulos.

2.7 Advertencia de una tensión o corriente demasiado alta

Durante el trabajo, el analizador controla de forma continua las tensiones y corrientes conectados a las entradas de medición. Si la tensión en cualquiera de las fases activas excede un 20% el valor nominal de la tensión ($>120\% U_{\text{NOM}}$) establecida en la configuración de medición, se activa una señal continua de dos tonos. Lo mismo se refiere a las corrientes - se activa una alarma si la corriente medida en cualquiera de los canales activos exceda un 20% la corriente nominal (rango de la pinza; $>120\% I_{\text{NOM}}$). En este caso, hay que comprobar si el voltaje y la corriente en la red está dentro del rango de tensiones y corrientes permitidas para el analizador, también se puede comprobar si la configuración del analizador es correcta y cambiarla.

2.8 Realización de mediciones

2.8.1 Inicio y detención del registro

Hay tres modos de iniciar el registro:

- inicio inmediato - manualmente pulsando el botón  después de configurar el medidor mediante el PC - se enciende el diodo **LOG**,
- de acuerdo con el tiempo programado en el PC, en este caso la pulsación del botón  no inicia el registro (el medidor espera el primer tiempo y se activa solo). El diodo **LOG** está encendido de forma continua en modo de espera, después del inicio el diodo parpadea,
- mediante el umbral, después de exceder cualquier umbral de evento establecido en la configuración, la pulsación del botón  cambia el medidor al modo de mediciones normales, pero el registro de archivos se inicia solamente después de detectar el primer evento. El diodo **LOG** está encendido de forma continua en modo de espera, después del inicio el diodo parpadea.

El medidor puede ser activado por un evento de corriente o tensión que se establece en el programa en el PC. Los umbrales para activar el registro son los mismos que los umbrales del registro de eventos.

Final del registro:

- El registro se detiene manualmente al mantener pulsado durante un segundo el botón  o a través de la aplicación de PC.
- El registro se termina automáticamente en el modo de horario (si se ha establecido el tiempo de finalización), y en otros casos el usuario debe detenerlo (con el botón  o mediante la aplicación).
- El registro se termina automáticamente cuando la tarjeta de memoria está completamente llena.
- Después de terminar el registro, si el medidor no estaba en modo de espera, se apaga el diodo **LOG** y el medidor espera las órdenes del operario.
- Si el medidor tenía apagados los diodos durante el registro, después de terminar el registro no está encendido ningún diodo; la pulsación de cualquier botón hace que se encienda el diodo **ON**.

2.8.2 Tiempos de registro aproximados

El tiempo máximo de registro depende de muchos factores tales como: tamaño de la tarjeta de memoria, tiempo de promediación, tipo de red, número de parámetros registrados, registro de oscilogramas, detección de eventos, así como propios umbrales de eventos. Algunas configuraciones escogidas se presentan en la Tabla 3. En la última columna se muestran los tiempos de registro aproximados para la tarjeta de memoria de 2 GB. Las configuraciones de ejemplo incluyen la medición de corriente I_N .

Tabla 3. Tiempos de registro aproximados para varias configuraciones de ejemplo.

Tipo de configuración/ parámetros registrados	Tiempo para el cálculo de la media	Tipo de red (medición de corrientes activa)	Eventos	Formas de onda de eventos	Formas de onda después de promediar	Tiempo aproximado de registro en caso de 2 GB de espacio asignado
según EN 50160	10 min	3-fásico estrella	• (1000 eventos)	• (1000 eventos)		60 años
según el perfil "Tensiones y corrientes"	1 s	3-fásico estrella				270 días
según el perfil "Potencias y armónicos"	1 s	3-fásico estrella				23 días
según el perfil "Potencias y armónicos"	1 s	3-fásico estrella	• (1000 eventos)	• (1000 eventos)		22,5 días
activados todos los parámetros posibles	10 min	3-fásico estrella				4 años
activados todos los parámetros posibles	10 s	3-fásico estrella				25 días
activados todos los parámetros posibles	10 s	1-fásico				64 días
activados todos los parámetros posibles	10 s	1-fásico	• (1000 eventos/día)	• (1000 eventos/día)		22 días

2.9 Sistemas de medición

El analizador puede ser conectado directamente e indirectamente a los siguientes tipos de red:

- monofásica (Fig. 5)
- bifásica (con bobinado dividido del transformador llamado en inglés *split phase*) (Fig. 6),
- trifásica tipo estrella con conductor neutro (Fig. 7 i Fig. 12),
- trifásica tipo estrella sin conductor neutro (Fig. 8),
- trifásica tipo triángulo (Fig. 9 i Fig. 13).

En los sistemas de tres conductores se pueden medir las corrientes con el método de Aron usando sólo dos pinzas que miden las corrientes lineales I_{L1} y I_{L3} . La corriente I_{L2} se calcula entonces según la relación:

$$I_{L2} = -I_{L1} - I_{L3}$$

Este método se puede utilizar en los sistemas tipo triángulo (Fig. 10) y estrella sin conductor neutro (Fig. 11).

Nota

Dado que los canales de medición de tensión se refieren a la entrada N, en los sistemas, en los cuales el conductor neutro no existe, es necesario conectar la entrada N a terminal L3 de la red. En este sistema no es necesario conectar la entrada L3 del analizador a la red examinada. Esto se presenta en la Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 13 (sistemas de tres conductores tipo estrella y triángulo).

En los sistemas con el conductor neutro se puede activar adicionalmente la medición de la corriente en este conductor después de conectar la pinza adicional en el canal I_N . Esta medición se realiza después de activar la opción **Corriente en el conductor N** en la configuración del punto de medición.

Nota

*Para calcular correctamente la potencia aparente total S_e y el factor de potencia total PF en el sistema trifásico con 4 conductores, es necesaria la medición de corriente en el conductor neutro. En tal caso siempre es necesario activar la opción **Corriente en el conductor N** y conectar cuatro pinzas. Se puede encontrar más información en el documento "Calidad de alimentación – manual".*

Prestar atención a la orientación de las pinzas (flexibles y rígidas). Las pinzas deben ser puestas de tal manera que la flecha colocada en las pinzas esté orientada hacia la carga. La verificación puede realizarse controlando la medición de la potencia activa, en la mayoría de tipos de receptores pasivos la potencia activa tiene el signo positivo. En caso de conexión incorrecta de las pinzas se puede cambiar la polaridad de las pinzas elegidas mediante la aplicación Sonel Analysis.

Las figuras siguientes presentan esquemáticamente los modos de conexión del analizador a la red examinada según su tipo.

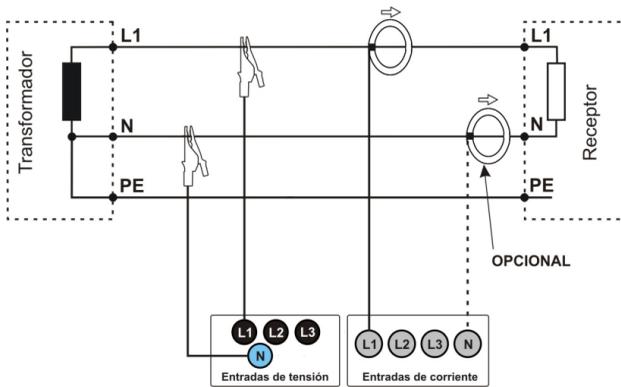


Fig. 5. Esquema de conexión – sistema monofásico.

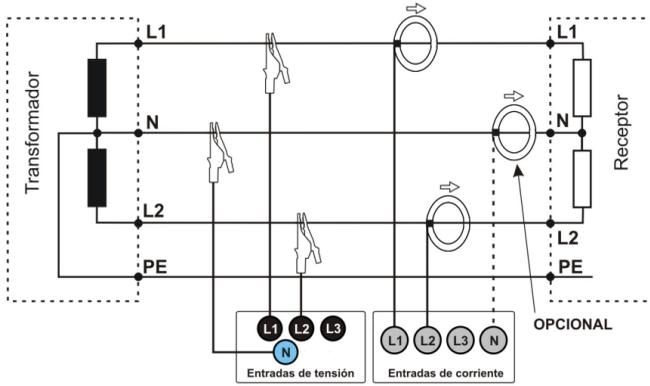


Fig. 6. Esquema de conexión – sistema bifásico.

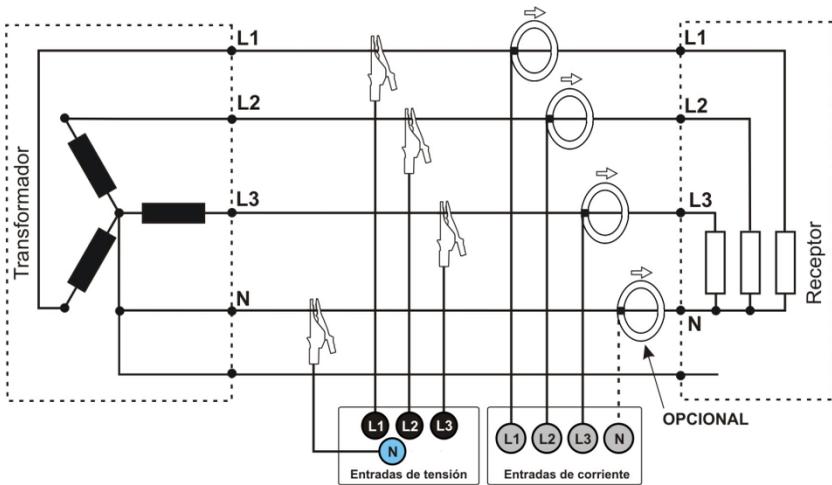


Fig. 7. Esquema de conexión – sistema trifásico tipo estrella con neutro.

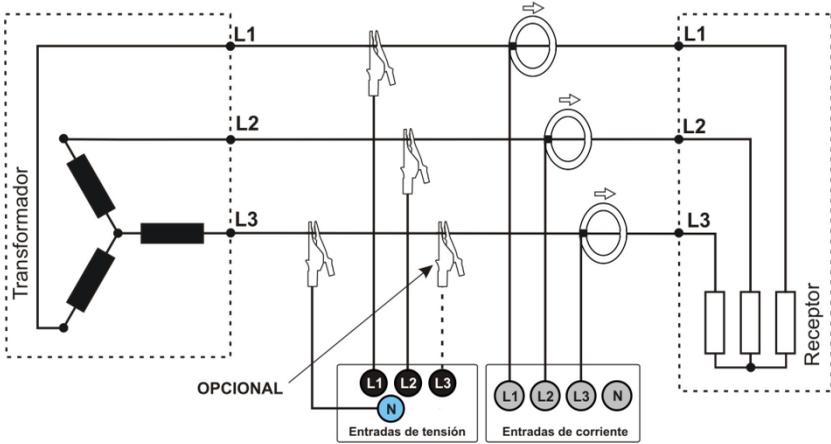


Fig. 8. Esquema de conexión – sistema trifásico tipo estrella sin neutro.

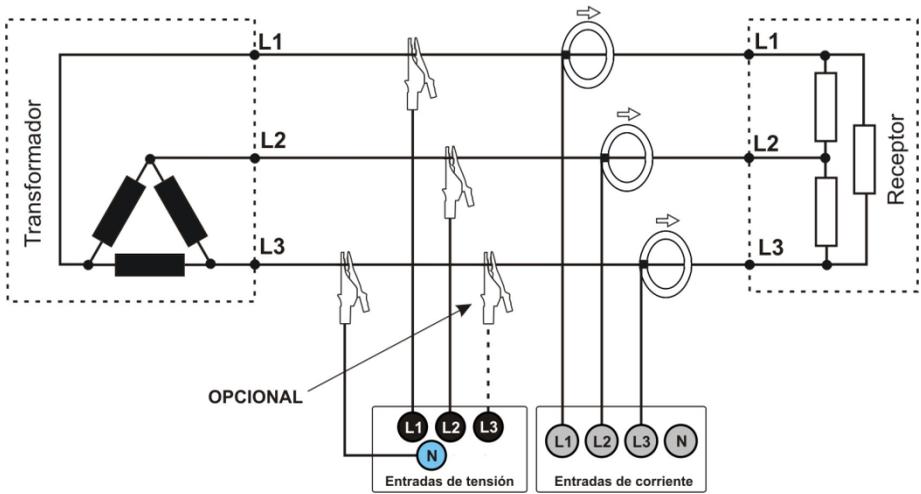


Fig. 9. Esquema de conexión – sistema trifásico tipo triángulo.

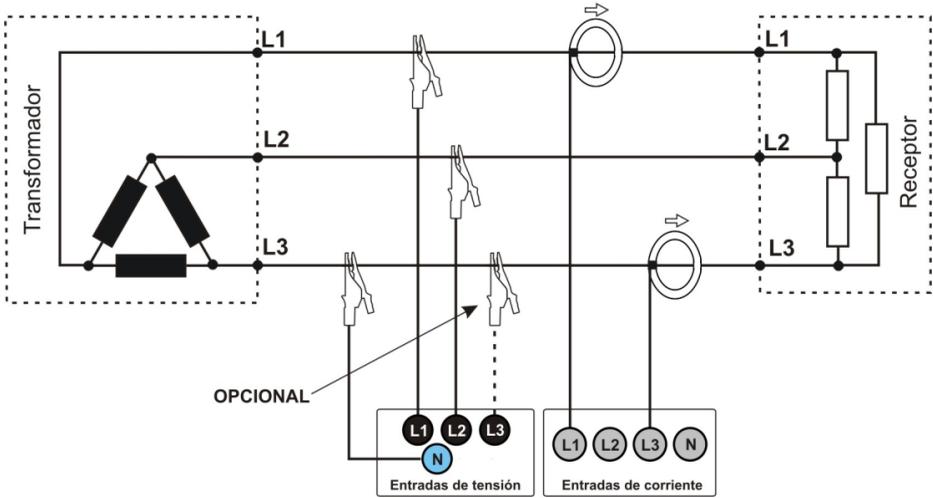


Fig. 10. Esquema de conexión – sistema trifásico tipo triángulo (medición de corrientes mediante el método de Aron).

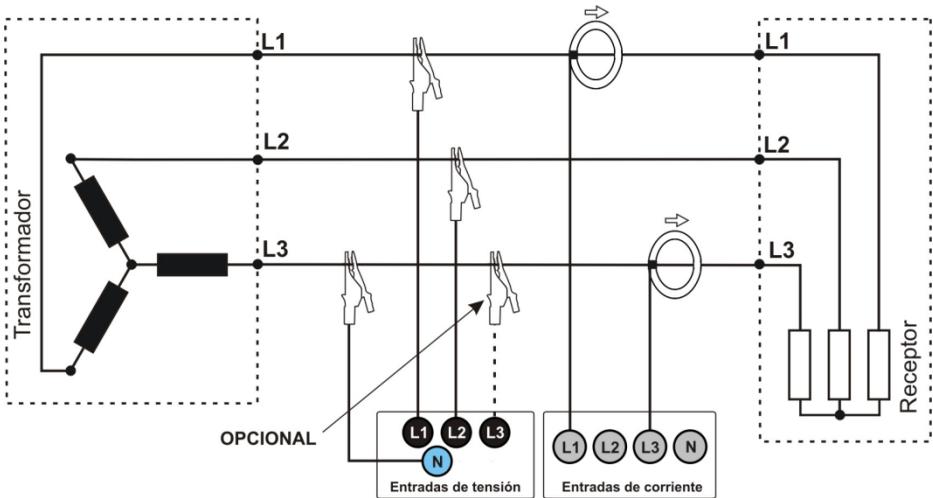


Fig. 11. Esquema de conexión – sistema trifásico tipo estrella sin neutro (medición de corrientes mediante el método de Aron).

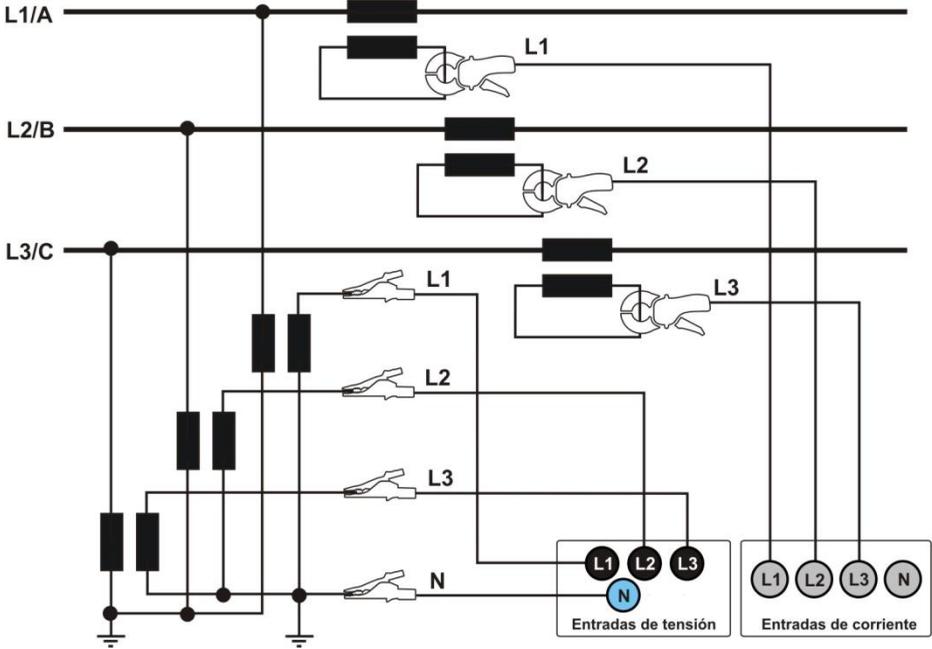


Fig. 12. Esquema de conexión - una medición indirecta SN en el sistema de estrella de 3 fases.

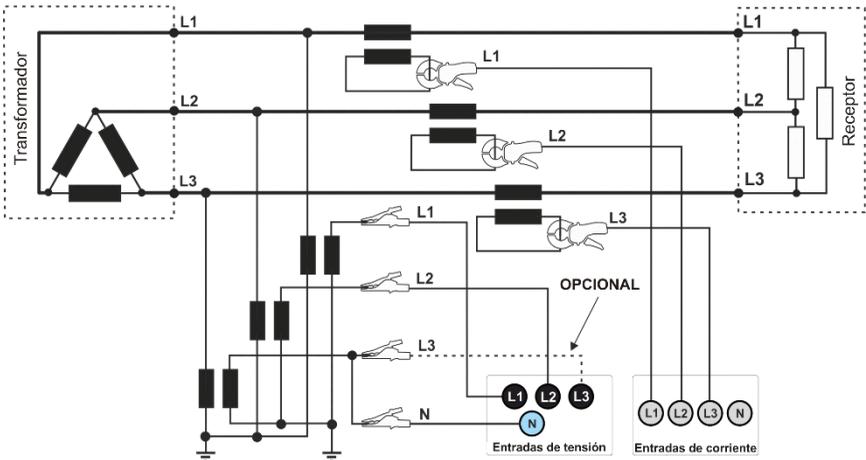


Fig. 13. Esquema de conexión - una medición indirecta SN en el sistema de triángulo de 3 fases.

2.10 Corriente de arranque

Esta función permite el registro de valores de semiperíodo de tensión y de corriente en tiempo de 60 s. Después el registro se terminará automáticamente. Antes de la medición se debe ajustar el tiempo de agregación a *Semiperíodo*. Los otros ajustes y el sistema de medición son cualquiera.

2.11 Bloqueo de botones

En la aplicación de PC es posible ajustar la opción de bloqueo de botones después del inicio de registro. Esto protege el analizador contra la detención de registro por personas no autorizadas. Para desbloquear los botones se deben seguir los siguientes pasos:

- pulsar tres veces seguidos el botón  en los intervalos de 0,5 s a 1 s,
- a continuación, pulsar el botón  en el intervalo de 0,5 s a 1 s,

El sonido al pulsar los botones es como para los botones inactivos y después de toda la secuencia el medidor emite un pitido doble.

2.12 Modo de espera

El programa de ordenador permite la activación del modo de espera. Cuando se inicia el registro, el medidor apaga los diodos después de 10 s. A partir de este momento son posibles los casos:

- activación inmediata – después de apagar todos los diodos, cada 10 s parpadea (durante 0,5 s) el diodo **LOG** que indica el registro,
- activación según eventos – después del apagado parpadea el diodo **LOG** cada 30 s en el estado de espera, cuando se inicia el registro el diodo **LOG** parpadea cada 10 s,
- activación según horario – después del apagado parpadea el diodo **LOG** cada 30 s en el estado de espera, cuando se inicia el registro el diodo **LOG** parpadea cada 10 s.

Además, en los casos anteriores:

- si el usuario detiene el registro pulsando , se encienden los diodos, a menos que el usuario reinicie el siguiente registro,
- si el analizador termina el registro porque se ha acabado la memoria en la tarjeta o se ha terminado el horario, los diodos permanecen apagados.

La pulsación de cualquier botón (durante corto tiempo) hace que se encienda el diodo **ON** (y posiblemente los otros diodos como **MEM** dependiendo de su estado) y se active la función dada, si está disponible.

2.13 Actualización de firmware

El software interno del analizar (en inglés *firmware*) debe actualizarse periódicamente porque las actualizaciones mejoran los errores percibidos o introducen nuevas funciones. Cuando se actualiza el software del analizador, se debe comprobar si hay una nueva versión del programa *Sonel Analysis* (y viceversa), y si es así, también debe ser actualizado.

2.13.1 Actualización automática

Método automático (recomendado) se lleva a cabo utilizando el software *Sonel Analysis*. Si en la configuración del programa el usuario tiene activada la opción **Actualizaciones en línea**, la aplicación se conecta al servidor de actualización al activarla. Si hay actualizaciones disponibles, se muestran (junto con una lista de cambios), y el usuario puede confirmar la descarga. Comprobar si hay actualizaciones disponibles también se puede ejecutar manualmente seleccionando en el menú del programa **Ayuda** → **Actualizaciones en línea**. Si la actualización del firmware está disponible y se ha descargado, se puede actualizar el firmware del medidor. Para ello:

3 Programa "Sonel Analysis"

1. Antes de actualizar se deben guardar todos los datos del analizador al ordenador (descargar y guardar los datos registrados en el disco).
2. Conectar el analizador a la red eléctrica.
3. Conectar el analizador a el ordenador mediante un cable USB y usar la aplicación. El programa *Sonel Analysis* debe inmediatamente después de la conexión mostrar un mensaje acerca de la posibilidad de actualizar el firmware (para que esto suceda es necesario que en la configuración del programa esté activada la opción "**Verificar versión del firmware mientras se conecta**").
4. Después de confirmar una ejecución de actualización se debe esperar a la finalización del proceso.
5. **NOTA:** Después de una actualización correcta, es necesario volver a programar el analizador antes de comenzar el registro con el fin de evitar incompatibilidad en los datos registrados.

2.13.2 Actualización manual

La actualización manual requiere que se guarde el archivo de firmware correspondiente en la tarjeta de memoria y se active la actualización con el botón.

1. Antes de actualizar se deben guardar todos los datos del analizador al ordenador (descargar y guardar los datos registrados en el disco).
2. Conectar el analizador a la red eléctrica.
3. Desde el sitio web del fabricante www.sonel.com, se debe descargar el archivo con el nuevo firmware. Si el archivo está comprimido hay que extraer el archivo FIRMWARE.PQF.
4. El archivo FIRMWARE.PQF debe estar guardado en la carpeta de la tarjeta microSD usando el lector de tarjetas externo.
5. Insertar la tarjeta en el analizador. El diodo **ON** debe parpadear, lo que indica que se reconoce el archivo de firmware y que está listo para iniciar la actualización.
6. Pulsar el botón **START**  con el fin de iniciar la actualización. Si el botón **START** no se pulsa en 10 segundos, la actualización se ignora. El proceso se indica mediante el parpadeo de los diodos **ON** y **MEM**.
7. **NOTA:** Después de una actualización correcta, es necesario volver a programar el analizador antes de comenzar el registro con el fin de evitar incompatibilidad en los datos registrados.

3 Programa "Sonel Analysis"

El programa "Sonel Analysis" es la aplicación necesaria para trabajar con el analizador PQM-700. Que permite:

- configuración del analizador,
- lectura de datos del dispositivo,
- visualización de la red en tiempo real,
- eliminación de datos en el analizador,
- presentación de datos en forma de tablas,
- presentación de datos en forma de diagramas,
- análisis de los datos según la norma EN 50160 (informes), regulación del sistema y otras condiciones de referencia definidas por el usuario,
- funcionamiento independiente de muchos dispositivos,
- actualización a las nuevas versiones del firmware de analizadores y de la propia aplicación.

El manual detallado del programa *Sonel Analysis* está disponible en un documento separado (también puede descargarse de la página del fabricante www.sonel.com).

4 Estructura y métodos de medición

4.1 Entradas de tensión

La estructura del bloque de las entradas de tensión se muestra en la Fig. 14. Tres entradas de fase L1, L2, L3 tienen una línea de referencia común, que es el cable N (neutro). Esta configuración de entradas reduce el número de cables necesarios para conectar el analizador en la más amplia opción hasta cuatro. Esta figura también muestra que el circuito de alimentación del analizador es independiente de los circuitos de medición.

La fuente de alimentación tiene el rango nominal de tensiones de entrada entre 100...415 V AC y tiene los terminales separados.

El analizador tiene un rango de tensión, con la tensión de cresta de 1150 V (sin corte).

4.2 Entradas de corriente

El analizador tiene cuatro entradas de corriente independientes con los mismos parámetros. Para cada una de ellas se pueden conectar las pinzas rígidas de corriente (CT) con salida de tensión de 1 V como estándar o las pinzas flexibles.

Una situación típica es el uso de las pinzas flexibles con un integrador electrónico incluido. Sin embargo, este analizador PQM-700 permite la conexión directa a la entrada del canal de corriente de la misma bobina de Rogowski, la integración de la señal se realiza de forma digital.

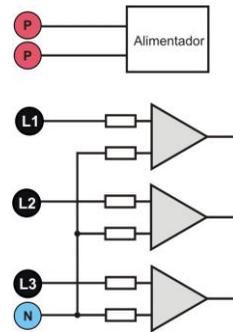


Fig. 14. Entradas de tensión y alimentador

4.2.1 Integrador digital

En el analizador PQM-700 se aplicó la solución con la integración digital de la señal que viene directamente de la bobina de Rogowski. Este enfoque permite eliminar los problemas relacionados con los integradores analógicos necesarios para asegurar la precisión declarada a largo plazo y en el entorno de medición difícil. Los integradores analógicos también deben incluir los sistemas de protección contra la saturación de la salida en presencia de la tensión continua en la entrada.

El integrador ideal tiene un amplificador infinito para las señales continuas que baja con una velocidad de frecuencia de 20 dB/década. El desplazamiento de fase es constante en todo el rango de frecuencia y es de -90° .

En teoría, el amplificador infinito para la señal continua que aparece en la entrada del integrador causa la saturación de su salida cerca de la tensión de alimentación e impide su funcionamiento. En sistemas prácticos se introduce una solución para limitar el amplificador para DC hasta un valor fijo, además periódicamente pone a cero las salidas. También hay técnicas de eliminación activa de tensión continua que la mide y de nuevo la pone en la entrada pero con el signo opuesto por lo que se anula eficazmente. En inglés se usa el término "*leaky integrator*" que significa el integrador con fuga. "*Leaky integrator*" es simplemente un integrador con el condensador de resistencia de alto valor. Tal sistema es entonces el mismo que el filtro de paso bajo con una frecuencia de paso muy baja.

La aplicación digital del integrador asegura unos parámetros excelentes durante largo período, todo el procedimiento se lleva a cabo por medio de cálculos, no hay efectos del envejecimiento de los elementos, etc. Sin embargo, igual que la versión analógica aquí también puede aparecer el problema de saturación y sin ninguna prevención puede hacer inútil la integración digital. Se deben tener en cuenta tanto los amplificadores de entrada como el convertidor analógico-digital tienen un compensador finito y no deseable, que debe ser eliminado antes del proceso de integración. El software del analizador PQM-700 incluye un filtro digital cuya tarea consiste en eliminar por completo la componente continua de tensión. La señal filtrada se somete a la integración digital. La característica de fase resultante tiene unas propiedades excelentes y el desplazamiento de fase para las frecuencias más críticas de 50 y 60 Hz es mínimo.

4 Estructura y métodos de medición

Proporcionar el desplazamiento de fase más pequeño entre las señales de corriente y voltaje es crucial para asegurar pequeños errores de medición de potencia. El error estimado de medición de potencia se puede expresar por la relación¹:

$$\text{Error de medición de potencia} \approx \text{error de fase (en radianes)} \times \tan(\varphi) \times 100\%$$

donde $\tan(\varphi)$ es la tangente del ángulo entre la tensión y la corriente de sus componentes fundamentales. De la fórmula anterior se puede concluir que los errores de medición aumentan junto con la disminución del factor de desplazamiento de fase; por ejemplo, cuando el error de fase de $0,1^\circ$ y $\cos\varphi=0,5$ el error es de tan sólo del 0,3%. De todos modos, para que las mediciones de potencia sean exactas, la concordancia de las trayectorias de fase de tensión y corriente debe ser la mejor.

4.3 Muestreo de la señal

Se muestrea la señal al mismo tiempo en los ocho canales y la frecuencia sincronizada con la frecuencia del canal de tensión de alimentación de referencia. Esta frecuencia es de 10,24 kHz para la frecuencia 50 Hz y 60 Hz.

Por consiguiente, un solo periodo tiene 204,8 muestras para la frecuencia de 50 Hz y 170,67 muestras para 60 Hz. Se utiliza el convertidor analógico-digital de 16 bits que proporciona el sobremuestreo de 64 veces.

La atenuación analógica de 3 decibelios se ha especificado para las frecuencias de unos 12 kHz, mientras que el error de amplitud para la frecuencia máxima útil igual a 2,4 kHz (es decir, la frecuencia del 40º armónico para la red de 60 Hz) es de aprox. 0,3 dB. El desplazamiento de fase para la misma frecuencia es menor que 15° . La atenuación en la banda de parada es mayor de 75 dB.

Se debe tener en cuenta que para la correcta medición del desplazamiento de fase entre los armónicos de tensión respecto a los armónicos de corriente no es significativo el desplazamiento absoluto de fase respecto a la frecuencia fundamental, pero la conformidad de las características de fase de las trayectorias de tensión y corriente. El mayor error de diferencia de fase para $f = 2,4$ kHz es hasta 15° . Este error disminuye con la disminución de la frecuencia que nos interesa.

4.4 Sincronización PLL

La sincronización de frecuencia de muestreo se llevó a cabo por medio del equipo. La señal de voltaje después de pasar a través de los circuitos de entrada se dirige al filtro de paso de banda, cuya misión es reducir el nivel de armónicos y pasar sólo la componente fundamental de tensión. A continuación, la señal se dirige a los circuitos del bucle de fase como una señal de referencia. El sistema PLL genera una frecuencia que es un múltiplo de la frecuencia de referencia requerida para el convertidor analógico-digital.

Otra cuestión es el rango de tensión de entrada para que el sistema PLL funcione correctamente. La norma 61000-4-7 no menciona aquí indicaciones ni requisitos específicos. El PQM-700 para la operación apropiada del sistema PLL requiere la tensión superior a 10 V a la entrada L1-N.

4.5 Medición de frecuencia

La señal para la medición de los valores de frecuencia de 10 segundos viene del canal de voltaje L1. Es el mismo señal que se utiliza para sincronizar el bucle PLL. Esta señal de canal L1 se aplica al filtro de paso de banda de segundo orden cuyo paso de banda se fijó en el rango de 40..70 Hz. Este filtro sirve para reducir el nivel de armónicos. A continuación, de la forma de onda filtrada se crea la señal cuadrada. Durante el ciclo de medición de 10 segundos se cuenta el número de periodos de la señal y su duración. Los intervalos de 10 segundos se determinan por el reloj de tiempo real (que es un múltiplo entero del tiempo de 10 segundos). La frecuencia se calcula como la relación del número de periodos contados y su duración.

¹ Current sensing for energy metering, William Koon, Analog Devices, Inc.

4.6 Detección de eventos

El PQM-700 ofrece una amplia gama de posibilidades de detección de eventos en la red medida. El evento es la situación en la que el valor del parámetro elegido de la red excede el umbral definido por el usuario.

El hecho de aparición del evento se registra en la tarjeta de memoria y contiene la información como:

- tipo de parámetro,
- canal en el que se produjo el evento,
- inicio y final de evento,
- valor umbral fijado por el usuario,
- valor del parámetro extremo medido durante el evento,
- valor medio del parámetro medido durante el evento.

Dependiendo del tipo de parámetro se puede establecer uno, dos o tres umbrales, que serán controlados por el analizador. La tabla contiene todos los parámetros para que los eventos puedan ser detectados dependiendo del tipo de umbral.

Tabla 4. Tipos de umbrales de eventos para los parámetros particulares.

Parámetro	Interrupción	Hueco	Subida	Mínimo	Máximo
U	•	•	•		
U _{DC}					•
f				•	•
CF U				•	•
u ₂					•
P _{st}					•
P _{lt}					•
I				•	•
CF I					
i ₂					•
P				•	•
Q ₁ , Q _B				•	•
S				•	•
D, S _N				•	•
PF				•	•
cosφ				•	•
tanφ				•	•
E _{P+} , E _{P-}					•
E _{Q+} , E _{Q-}					•
E _S					•
THD _F U					•
U _{h2} ..U _{h50}					•
THD _F I					•
I _{h2} ..I _{h50}					•

Algunos parámetros pueden tener tanto los valores positivos como negativos. Un ejemplo es la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia. Dado que el umbral de detección de eventos sólo puede ser positivo, con el fin de asegurar la correcta detección de eventos para estos

parámetros, el analizador compara los valores absolutos de estos parámetros con el umbral establecido.

Ejemplo

El umbral de evento de la potencia activa se establece en 10 kW. Si la carga tiene el carácter de generador, la potencia activa tendrá un signo negativo después de conectar correctamente la pinza de corriente. Si el valor absoluto medido de la potencia activa supera el umbral, es decir, 10 kW (p.ej. 11 kW) se registrará el evento del que se ha superado el valor de la máxima potencia activa.

Hay dos tipos de parámetros: el valor eficaz de tensión y el valor eficaz de corriente pueden generar eventos y el usuario puede completarlos con el registro de las ondas instantáneas (oscilogramas).

Las formas de onda de canales activos (de tensión y corriente) se almacenan por el analizador al principio y al final del evento. En ambos casos, se registran seis períodos: dos antes del comienzo (final) del evento y cuatro después del comienzo (final). Las formas de onda se almacenan en formato de 8 bits con una frecuencia de muestreo de 10,24 kHz.

La información sobre el evento es guardada en el momento de finalizar. En algunos casos puede ocurrir que en el momento de finalizar el registro algún evento estaba activo (p.ej. duraba el hueco de tensión). Información sobre este evento también se guarda pero con las siguientes modificaciones:

- no hay tiempo de finalización de evento,
- el valor extremo se calcula sólo para el período hasta la detención de registro,
- no se menciona el valor medio,
- sólo está disponible el oscilograma de comienzo para los eventos relacionados con la tensión o la corriente eficaz.

Para evitar la detección repetida de eventos, cuando el valor del parámetro fluctúa en torno al umbral, se introdujo la histéresis de detección de eventos definida por el usuario. Se la define en porcentaje de la siguiente manera:

- para los eventos del valor eficaz de tensión es un porcentaje del valor nominal de tensión (p.ej. 2% de 230 V, es decir, 4,6 V),
- para los eventos del valor eficaz de corriente es el porcentaje del rango nominal de corriente (p.ej. para la pinza C-4 y la falta de transformadores de corriente, la histéresis del 2% es igual a $0,02 \times 1000 \text{ A} = 20 \text{ A}$,
- para los otros parámetros, la histéresis se define como el porcentaje del umbral máximo (por ejemplo si el umbral máximo para el factor de cresta de corriente se establece en 4,0, entonces la histéresis es $0,02 \times 4,0 = 0,08$).

5 Fórmulas de cálculo

5.1 Red monofásica

Red monofásica			
Parámetro			Método de cálculo
Nombre	Símbolo	Unidad	
Tensión eficaz (True RMS)	U_A	V	$U_A = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i^2}$ donde U_i es la siguiente muestra de la tensión U_{A-N} $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Componente constante de tensión	U_{ADC}	V	$U_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i$ donde U_i es siguiente muestra de la tensión U_{A-N} $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Frecuencia	f	Hz	número de los períodos enteros de tensión U_{A-N} contados durante el intervalo de 10 s de tiempo de reloj dividido por la duración total de los períodos completos
Corriente eficaz (True RMS)	I_A	A	$I_A = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i^2}$ donde I_i es siguiente muestra de la corriente I_A $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Componente constante de corriente	I_{ADC}	A	$I_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i$ donde I_i es siguiente muestra de la corriente I_A $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Potencia activa	P	W	$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i I_i$ donde U_i es siguiente muestra de la tensión U_{A-N} I_i es siguiente muestra de la corriente I_A $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Potencia reactiva definida por Budeanu	Q_B	var	$Q_B = \sum_{h=1}^{50} U_h I_h \sin \varphi_h$ donde U_h es h° armónico de tensión U_{A-N} I_h es h° armónico de corriente I_A φ_h es h° ángulo entre los armónicos U_h y I_h
Potencia reactiva de la componente fundamental	Q_1	var	$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$ donde U_1 es la componente fundamental de tensión U_{A-N} I_1 es la componente fundamental de corriente I_A φ_1 es el ángulo entre las componentes fundamentales U_1 y I_1
Potencia aparente	S	VA	$S = U_{ARMS} I_{ARMS}$
Potencia aparente de distorsión	S_N	VA	$S_N = \sqrt{S^2 - (U_1 I_1)^2}$
Potencia de distorsión definida por Budeanu	D_B	var	$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2}$
Factor de potencia	PF	-	$PF = \frac{P}{S}$ Si $PF < 0$ carga tiene el carácter de generador Si $PF > 0$ la carga tiene el carácter de receptor

5 Fórmulas de cálculo

Factor de desplazamiento de fase	$\cos\varphi$ DPF	-	$\cos\varphi = DPF = \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1})$ donde φ_{U_1} es el ángulo absoluto de la componente fundamental de la tensión U_{A-N} φ_{I_1} es el ángulo absoluto de la componente fundamental de la corriente I_A
Tangente φ (4 cuadrantes)	$\tan\varphi_{(L+)}$	-	$\tan\varphi_{(L+)} = \frac{\Delta E_{Q(L+)}}{\Delta E_{P+}}$ donde: $\Delta E_{Q(L+)}$ es el aumento de la energía reactiva $E_{Q(L+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, ΔE_{P+} es el aumento de la energía activa consumida E_{P+} en este período de cálculo de la media
	$\tan\varphi_{(C-)}$	-	$\tan\varphi_{(C-)} = -\frac{\Delta E_{Q(C-)}}{\Delta E_{P+}}$ donde: $\Delta E_{Q(C-)}$ es el aumento de la energía reactiva $E_{Q(C-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, ΔE_{P+} es el aumento de la energía activa consumida E_{P+} w danym przedziale uśredniania
	$\tan\varphi_{(L-)}$	-	$\tan\varphi_{(L-)} = \frac{\Delta E_{Q(L-)}}{\Delta E_{P+}}$ donde: $\Delta E_{Q(L-)}$ es el aumento de la energía reactiva $E_{Q(L-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, ΔE_{P+} es el aumento de la energía activa consumida E_{P+} w danym przedziale uśredniania
	$\tan\varphi_{(C+)}$	-	$\tan\varphi_{(C+)} = -\frac{\Delta E_{Q(C+)}}{\Delta E_{P+}}$ donde: $\Delta E_{Q(C+)}$ es el aumento de la energía reactiva $E_{Q(C+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, ΔE_{P+} es el aumento de la energía activa consumida E_{P+} en este período de cálculo de la media
Componentes armónicas de tensión y corriente	U_{hx} I_{hx}	V A	método de los subgrupos armónicos según IEC 61000-4-7 x (orden del armónico) = 1..50
Factor de distorsión armónica de tensión se refiere a la componente fundamental	$THDU_F$	-	$THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">o</p> $THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">donde U_h es h^o armónico de tensión U_{A-N} U_1 es la componente fundamental de tensión U_{A-N}</p>
Factor de distorsión armónica de tensión se refiere al valor eficaz	$THDU_R$	-	$THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">o</p> $THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">donde U_h es h^o armónico de tensión U_{A-N}</p>

<p>Factor de distorsión armónica de corriente se refiere a la componente fundamental</p>	<p>$THDI_F$</p>	<p>-</p>	$THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">o</p> $THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ <p>donde I_h es h^o armónico de corriente I_A I_1 es la componente fundamental de corriente I_A</p>
<p>Factor de distorsión armónica de corriente se refiere al valor eficaz</p>	<p>$THDI_R$</p>	<p>-</p>	$THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ <p style="text-align: center;">o</p> $THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ <p>donde I_h es h^o armónico de corriente I_A</p>
<p>Factor TDD</p>	<p>TDD</p>	<p>-</p>	$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_L} \times 100\%$ <p>donde I_h es h^o armónico de corriente I_A I_L es la corriente demandada (en modo automático I_L es el valor medio máximo de la componente fundamental de corriente buscada entre todos los canales de corriente medidos de todo el rango de registro)</p>
<p>Factor de pico de tensión</p>	<p>CFU</p>	<p>-</p>	$CFU = \frac{\max. U_i }{U_{ARMS}}$ <p>$\max. U_i$ Cuando el operario expresa el valor más grande de los valores absolutos de muestras de tensión U_{A-N} $i = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz</p>
<p>Factor de pico de corriente</p>	<p>CFI</p>	<p>-</p>	$CFI = \frac{\max. I_i }{I_{ARMS}}$ <p>$\max. I_i$ Cuando el operario expresa el valor más grande de los valores absolutos de muestras de corriente I_A $i = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz</p>
<p>Flicker de corta duración</p>	<p>P_{st}</p>	<p>-</p>	<p>calculado de acuerdo con la norma IEC 61000-4-15</p>
<p>Flicker de larga duración</p>	<p>P_{lt}</p>	<p>-</p>	$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{STi}^3}{N}}$ <p>donde P_{STi} es el siguiente indicador de parpadeo de corta duración</p>

<p>Energía activa (consumida y devuelta)</p>	<p>E_{P+} E_{P-}</p>	<p>Wh</p>	$E_{P+} = \sum_{i=1}^m P_+(i)T(i)$ $P_+(i) = \begin{cases} P(i) & \text{para } P(i) > 0 \\ 0 & \text{para } P(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-} = \sum_{i=1}^m P_-(i)T(i)$ $P_-(i) = \begin{cases} P(i) & \text{para } P(i) < 0 \\ 0 & \text{para } P(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos <i>P(i)</i> representa el valor de la potencia activa <i>P</i> calculada en la <i>i</i>ª ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>
<p>Energía reactiva (4 cuadrantes)</p>	<p>$E_{Q(L+)}$ $E_{Q(C-)}$ $E_{Q(L-)}$ $E_{Q(C+)}$</p>	<p>varh</p>	$E_{Q(L+)} = \sum_{y=1}^m Q_{L+}(i)T(i)$ $Q_{L+}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i) > 0 \text{ y } P(i) > 0$ $Q_{L+}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Q(C-)} = \sum_{y=1}^m Q_{C-}(i)T(i)$ $Q_{C-}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i) > 0 \text{ y } P(i) < 0$ $Q_{C-}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Q(L-)} = \sum_{y=1}^m Q_{L-}(i)T(i)$ $Q_{L-}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i) < 0 \text{ y } P(i) < 0$ $Q_{L-}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Q(C+)} = \sum_{y=1}^m Q_{C+}(i)T(i)$ $Q_{C+}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i) < 0 \text{ y } P(i) > 0$ $Q_{C+}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos , <i>Q(i)</i> representa el valor de la potencia reactiva (Budeanu o IEEE1459) calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>P(i)</i> representa el valor de la potencia activa calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>
<p>Energía aparente</p>	<p>E_S</p>	<p>VAh</p>	$E_S = \sum_{i=1}^m S(i)T(i)$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos <i>S(i)</i> representa el valor de la potencia aparente <i>S</i> calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>

5.2 Red bifásica

Red bifásica			
(los parámetros no mencionados se calculan como para la red monofásica)			
Parámetro			Método de cálculo
Nombre	Símbolo	Unidad	
Potencia activa total	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B$
Potencia reactiva total definida por Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB}$
Potencia reactiva total de componente fundamental	Q_{1tot}	var	$Q_{1tot} = Q_{1A} + Q_{1B}$
Potencia aparente total	S_{tot}	VA	$S_{tot} = S_A + S_B$
Potencia aparente total de distorsión	S_{Ntot}	VA	$S_{Ntot} = S_{NA} + S_{NB}$
Potencia de distorsión total definida por Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB}$
Factor de potencia total	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_{tot}}$
Factor total de desplazamiento de fase	$\cos \varphi_{tot}$ DPF_{tot}	-	$\cos \varphi_{tot} = DPF_{tot} = \frac{1}{2} (\cos \varphi_A + \cos \varphi_B)$
Tangente total φ (4 cuadrantes)	$\tan \varphi_{tot(L+)}$	-	$\tan \varphi_{tot(L+)} = \frac{\Delta E_{Q_{tot}(L+)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ <p>donde: $\Delta E_{Q_{tot}(L+)}$ es el aumento de la energía reactiva total $E_{Q_{tot}(L+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, $\Delta E_{P_{tot+}}$ es el aumento de la energía activa consumida total $E_{P_{tot+}}$ en este período de cálculo de la media</p>
	$\tan \varphi_{tot(C-)}$	-	$\tan \varphi_{tot(C-)} = -\frac{\Delta E_{Q_{tot}(C-)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ <p>donde: $\Delta E_{Q_{tot}(C-)}$ es el aumento de la energía reactiva total $E_{Q_{tot}(C-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, $\Delta E_{P_{tot+}}$ es el aumento de la energía activa consumida total $E_{P_{tot+}}$ en este período de cálculo de la media</p>
	$\tan \varphi_{tot(L-)}$	-	$\tan \varphi_{tot(L-)} = \frac{\Delta E_{Q_{tot}(L-)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ <p>donde: $\Delta E_{Q_{tot}(L-)}$ es el aumento de la energía reactiva total $E_{Q_{tot}(L-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, $\Delta E_{P_{tot+}}$ es el aumento de la energía activa consumida total $E_{P_{tot+}}$ en este período de cálculo de la media</p>
	$\tan \varphi_{tot(C+)}$	-	$\tan \varphi_{tot(C+)} = -\frac{\Delta E_{Q_{tot}(C+)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ <p>donde: $\Delta E_{Q_{tot}(C+)}$ es el aumento de la energía reactiva total $E_{Q_{tot}(C+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) en este período de cálculo de la media, $\Delta E_{P_{tot+}}$ es el aumento de la energía activa consumida total $E_{P_{tot+}}$ en este período de cálculo de la media</p>
Energía activa total (consumida y devuelta)	$E_{P_{tot+}}$ $E_{P_{tot-}}$	Wh	$E_{P_{tot+}} = \sum_{y=1}^m P_{tot+}(i)T(i)$ $P_{tot+}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{para } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{para } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P_{tot-}} = \sum_{y=1}^m P_{tot-}(i)T(i)$

5 Fórmulas de cálculo

			$P_{tot-}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{para } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{para } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 periodos, <i>P_{tot}(i)</i> representa el valor de la potencia total activa <i>P_{tot}</i> calculada en <i>i</i>ª ventana de medición, <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>
Energía reactiva total (4 cuadrantes)	$E_{Qtot(L+)}$ $E_{Qtot(C-)}$ $E_{Qtot(L-)}$ $E_{Qtot(C+)}$	varh	$E_{Qtot(L+)} = \sum_{y=1}^m Q_{L+}(i)T(i)$ $Q_{L+}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i)>0 \text{ y } P(i)>0$ $Q_{L+}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Qtot(C-)} = \sum_{y=1}^m Q_{C-}(i)T(i)$ $Q_{C-}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i)>0 \text{ y } P(i)<0$ $Q_{C-}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Qtot(L-)} = \sum_{y=1}^m Q_{L-}(i)T(i)$ $Q_{L-}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i)<0 \text{ y } P(i)<0$ $Q_{L-}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ $E_{Qtot(C+)} = \sum_{y=1}^m Q_{C+}(i)T(i)$ $Q_{C+}(i) = Q(i) \text{ si } Q(i)<0 \text{ y } P(i)>0$ $Q_{C+}(i) = 0 \text{ en otros casos}$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 periodos , <i>Q(i)</i> representa el valor de la potencia reactiva total (Budeanu o IEEE1459) calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>P(i)</i> representa el valor de la potencia activa calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>
Energía aparente total	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = \sum_{y=1}^m S_{tot}(i)T(i)$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 periodos <i>S_{tot}(i)</i> representa el valor de la potencia aparente total <i>S_{tot}</i> calculada en <i>i</i>ª ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>i</i>ª ventana de medición en las horas</p>

5.3 Red trifásica tipo estrella con N

Red trifásica tipo estrella con N (parámetros no mencionados se calculan como para la red monofásica)			
Parámetro			Método de cálculo
Nombre	Símbolo	Unidad	
Potencia activa total	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B + P_C$
Potencia reactiva total definida por Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB} + Q_{BC}$
Potencia reactiva total según IEEE 1459	Q_1^+	var	$Q_1^+ = 3U_1^+ I_1^+ \sin \varphi_1^+$ donde: U_1^+ es componente de secuencia positiva de tensión (de componente fundamental) I_1^+ es componente de secuencia positiva de corriente (de componente fundamental) φ_1^+ es el ángulo entre las componentes U_1^+ y I_1^+
Potencia aparente eficaz	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ donde: $U_e = \sqrt{\frac{3(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{18}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2}{3}}$
Potencia aparente eficaz de distorsión	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ donde: $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{3(U_{A1}^2 + U_{B1}^2 + U_{C1}^2) + U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{18}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2 + I_{N1}^2}{3}}$
Potencia de distorsión total definida por Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB} + D_{BC}$
Factor de potencia total	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$
Factor total de desplazamiento de fase	$\cos \varphi_{tot}$ DPF_{tot}	-	$\cos \varphi_{tot} = DPF_{tot} = \frac{1}{3} (\cos \varphi_A + \cos \varphi_B + \cos \varphi_C)$
Tangente total φ (4 cuadrantes)	$\tan \varphi_{tot(L+)}$ $\tan \varphi_{tot(C-)}$ $\tan \varphi_{tot(L-)}$ $\tan \varphi_{tot(C+)}$	-	relación como para la red de 2 fases
Energía activa total (consumida y devuelta)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	relación como para la red de 2 fases
Energía reactiva total (4 cuadrantes)	$E_{Q_{tot}(L+)}$ $E_{Q_{tot}(C-)}$ $E_{Q_{tot}(L-)}$ $E_{Q_{tot}(C+)}$	varh	relación como para la red de 2 fases

5 Fórmulas de cálculo

Energía aparente total	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = \sum_{i=1}^m S_e(i)T(i)$ <p>donde: i es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos $S_e(i)$ representa el valor de la potencia aparente eficaz S_e calculada en y^a ventana de medición $T(i)$ representa el tiempo de duración de P^a ventana de medición en las horas</p>
Valor eficaz de tensión de componente de secuencia cero	U_0	V	$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{C1})$ $U_0 = \text{mag}(\underline{U}_0)$ <p>donde \underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las tensiones de fase U_A, U_B, U_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p>
Valor eficaz de tensión de componente de secuencia positiva	U_1	V	$\underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + a\underline{U}_{B1} + a^2\underline{U}_{C1})$ $U_1 = \text{mag}(\underline{U}_1)$ <p>donde \underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las tensiones de fase U_A, U_B, U_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p> $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$
Valor eficaz de tensión de componente de secuencia negativa	U_2	V	$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + a^2\underline{U}_{B1} + a\underline{U}_{C1})$ $U_2 = \text{mag}(\underline{U}_2)$ <p>donde \underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las tensiones de fase U_A, U_B, U_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p> $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$
Factor de desequilibrio de tensión de componente de secuencia cero	u_0	%	$u_0 = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100\%$
Factor de desequilibrio de tensión de componente de secuencia negativa	u_2	%	$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$
Componente de secuencia cero de corriente	I_0	A	$\underline{I}_0 = \frac{1}{3}(\underline{I}_{A1} + \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{C1})$ $I_0 = \text{mag}(\underline{I}_0)$ <p>donde \underline{I}_{A1}, \underline{I}_{B1}, \underline{I}_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las corrientes de fase I_A, I_B, I_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p>

Valor eficaz de corriente de componente de secuencia positiva	I_1	A	$I_1 = \frac{1}{3}(I_{A1} + aI_{B1} + a^2I_{C1})$ $I_1 = \text{mag}(I_1)$ <p>donde I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las corrientes I_A, I_B, I_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p>
Valor eficaz de corriente de componente de secuencia negativa	I_2	A	$I_2 = \frac{1}{3}(I_{A1} + a^2I_{B1} + aI_{C1})$ $I_2 = \text{mag}(I_2)$ <p>donde I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} son vectores de las componentes fundamentales de las tensiones de fase I_A, I_B, I_C Operador $\text{mag}()$ significa el módulo del vector</p>
Factor de desequilibrio de corriente de componente de secuencia cero	i_0	%	$y_0 = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100\%$
Factor de desequilibrio de corriente de componente de secuencia negativa	i_2	%	$y_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100\%$

5.4 Red trifásica tipo estrella y triángulo sin N

Red trifásica tipo estrella y triángulo sin N			
(parámetros: tensión y corriente eficaces, componentes constantes de tensiones y corrientes, factores THD y K, componentes simétricas y factores de asimetría, indicadores de parpadeo de luz, se calculan igual que en los circuitos monofásicos; en lugar de las tensiones de fase se utilizan las tensiones entre fases)			
Parámetro			Método de cálculo
Nombre	Símbolo	Unidad	
Tensión entre fases U_{CA}	U_{CA}	V	$U_{CA} = -(U_{AB} + U_{BC})$
Corriente I_2 (sistemas de medición de Aron)	I_2	A	$I_2 = -(I_1 + I_3)$
Potencia activa total	P_{tot}	W	$P_{tot} = \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M U_{iAC} I_{iA} + \sum_{i=1}^M U_{iBC} I_{iB} \right)$ <p style="text-align: center;">donde:</p> U_{iAC} es la siguiente muestra de la tensión U_{A-C} U_{iBC} es la siguiente muestra de la tensión U_{B-C} I_{iA} es la siguiente muestra de la corriente I_A I_{iB} es la siguiente muestra de la corriente I_B $M = 2048$ para la red de 50 Hz y 60 Hz
Potencia aparente total	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ <p style="text-align: center;">donde:</p> $U_e = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{9}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3}}$
Potencia reactiva total (Budeanu e IEEE 1459)	Q_{Btot}	var	$Q = N = \text{sign} \sqrt{S_e^2 - P^2}$ <p>donde <i>sign</i> es igual a 1 o -1. El signo se determina por el ángulo de cambio de fase entre las componentes simétricas normalizadas de tensiones y corrientes compatibles.</p>
Potencia de distorsión total definida por Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = 0$
Potencia aparente eficaz de distorsión	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ <p style="text-align: center;">donde:</p> $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{9}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2}{3}}$
Factor de potencia total	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$

<p>Energía activa (consumida y devuelta)</p>	$\begin{matrix} E_{P_{tot+}} \\ E_{P_{tot-}} \end{matrix}$	<p>Wh</p>	$E_{p+tot} = \sum_{i=1}^m P_{+tot}(i)T(i)$ $P_{+tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{para } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{para } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{p-tot} = \sum_{i=1}^m P_{-tot}(i)T(i)$ $P_{-tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{para } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{para } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos <i>P_{tot}(i)</i> representa el valor de la potencia activa total <i>P_{tot}</i> calculada en <i>y</i>^a ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>p</i>^a ventana de medición en las horas</p>
<p>Energía aparente total</p>	E_{Stot}	<p>VAh</p>	$E_{Stot} = \sum_{i=1}^m S_e(i)T(i)$ <p>donde: <i>i</i> es el siguiente número de la ventana de medición de 10/12 períodos <i>S_e(i)</i> representa el valor de la potencia aparente total <i>S_e</i> calculada en <i>y</i>^a ventana de medición <i>T(i)</i> representa el tiempo de duración de <i>p</i>^a ventana de medición en las horas</p>

5.5 Métodos para promediar los parámetros

Métodos para promediar los parámetros	
Parámetro	Método para promediar
Tensión y corriente eficaz	RMS
Tensión y corriente continua (DC)	media aritmética
Frecuencia	media aritmética
Factor de cresta de U, I	media aritmética
Componentes simétricas de U, I	RMS
Factor de asimetría de U, I	calculado de los valores medios de las componentes simétricas
Potencia activa, reactiva, aparente, distorsiones	media aritmética
Factor de potencia PF	calculado de los valores medios de potencia
$\cos\phi$	media aritmética
$\tan\phi$	se calcula como la relación del aumento de la energía reactiva (en el cuadrante apropiado) respecto al aumento de la energía activa consumida
THD U, I	calculado como la relación entre el valor medio RMS de los armónicos altos y el valor medio RMS de componente fundamental (para THD-F), o la relación del valor medio RMS de los armónicos altos al valor medio de la tensión eficaz (para THD-R)
Amplitudes de los armónicos de U, I	RMS

Notas:

El valor medio RMS se calcula según la fórmula:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2}$$

La media aritmética (AVG) se calcula según la fórmula:

$$AVG = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

donde:

- X_i es siguiente valor de parámetro sujeto al cálculo de la media,
- N es el número del valor sujeto al cálculo de la media.

6 Datos técnicos

- Las especificaciones técnicas pueden modificarse sin previo aviso. Las últimas ediciones de la documentación técnica están disponibles en la página www.sonel.com.
- La incertidumbre básica es la incertidumbre del instrumento de medición en condiciones de referencia dadas en la Tabla 5.
- Las incertidumbres dadas conciernen al analizador PQM-700 sin transformadores y pinzas adicionales.
- Abreviaturas:
 - v.m. - valor medido patrón,
 - U_{nom} – valor nominal de tensión,
 - I_{nom} – rango nominal de corriente (pinzas),
 - RMS – valor eficaz,
 - n – orden de armónico,
 - c.s. – cifras significativas – respecto a la resolución del resultado de medición es el registro del valor que indica el número de dígitos significativos, por ejemplo la resolución para el voltaje de 230 V y 4 c.s. es igual a 0,1 V (pone 230,0 V); la resolución para la corriente 5 A y 4 c.s. es 0,001 A (pone 5,000 A).
 - δ_{ph} – incertidumbre adicional resultante del error de medición de la fase entre armónicos de tensión y de corriente.

6.1 Entradas

Entradas de tensión	
Número de entradas	4 (L1, L2, L3, N, PE - 3 trayectos de medición)
Tensión máxima de entrada	760 V_{RMS} 40...70 Hz o DC
Categoría de medida	CAT IV 300 V / CAT III 600 V / CAT II 760 V
Tensión de cresta de entrada (sin cortar)	± 1150 V
Banda analógica de transmisión (-3 dB)	12 kHz
Transformadores	definidos por el usuario
Impedancia de entradas de medición	14 M Ω
CMRR	70 dB (50 Hz)

Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) no aisladas, galvanizadas
Tensión nominal de entrada (pinzas CT)	1 V_{RMS}
Tensión de cresta de entrada (pinzas CT; sin eliminación de la señal)	$\pm 3,6$ V
Tensión nominal de entrada (pinzas flexibles)	0,125 V_{RMS}
Tensión de cresta de entrada (pinzas flexibles; sin eliminación de la señal)	$\pm 0,45$ V
La tensión máxima permitida de entrada de la pinza respecto a la tierra	5 V_{RMS}
Banda analógica de transmisión (-3 dB)	12 kHz
Impedancia de entrada	Trayecto de pinzas rígidas: 100 k Ω Trayecto de pinzas flexibles: 12,4 k Ω
Rango de medición (sin transformadores)	Pinzas flexibles F-1(A)/F-2(A)/F-3(A): 1..3000 A (± 10 kA en cresta, 50 Hz) Pinzas flexibles F-2AHD/F-3AHD: 1..3000 A (± 10 kA en cresta, 50 Hz) Pinzas flexibles F-1A6/F-2A6/F-3A6: 1..6000 A (± 20 kA en cresta, 50 Hz) Pinzas flexibles F-1A1/F-2A1/F-3A1: 1..1500 A (± 5 kA en cresta, 50 Hz) Pinzas CT C-4(A): 1..1200 A Pinzas CT C-5A: 1..1400 A Pinzas CT C-6(A): 0,01..12 A Pinzas CT C-7(A): 0..100 A
Transformadores	definidos por el usuario
CMRR	60 dB (50 Hz)

6.2 Muestreo y reloj RTC

Muestreo y reloj RTC	
Transductor A/C	de 16 bits
Velocidad de muestreo	10,24 kHz para 50 Hz y 60 Hz Muestreo simultáneo en todos los canales
Muestras por período	204,8 para 50 Hz; 170,67 para 60 Hz
Sincronización PLL	40...70 Hz
Canal de referencia para el sistema PLL	L1
Reloj de tiempo real	±3,5 ppm máx. (aprox. ±9 segundos/mes) en el rango de temperatura -20°C...+55°C

6.3 Parámetros medidos: precisión, resolución y rango

6.3.1 Condiciones de referencia

Tabla 5. Condiciones de referencia.

Condiciones de referencia	
Temperatura ambiente	23°C ±2°C
Humedad relativa	40...60%
Desequilibrio de tensión	≤ 0,1% para el factor de desequilibrio de secuencia negativa (sólo en sistemas trifásicos)
Campo magnético externo continuo	≤ 40 A/m (continuo) ≤ 3 A/m (variable) para la frecuencia 50/60 Hz
Componente constante de tensión y corriente	cero
Formas de onda	sinusoidales
Frecuencia	50 Hz ±0,2% o 60 Hz ±0,2%

6.3.2 Tensión

Tensión	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
U _{RMS} (AC+DC)	20% U _{nom} ≤ U _{RMS} ≤ 120% U _{nom} para U _{nom} ≥ 100V	4 c.s.	±0,5% U _{nom}
Factor de cresta	1...10 (1...1,65 para la tensión de 690 V) para U _{RMS} ≥ 10% U _{nom}	0,01	±5%

6.3.3 Corriente

Corriente	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
I _{RMS} (AC+DC)	Entrada sin pinzas		
	línea de pinzas CT: 0..1 V (máx. ±3.6 V)	4 c.s.	±0,2% I _{nom}
	línea de pinzas flexibles: 0..125 mV (máx. ±450 mV)		
	Pinzas flexibles F-1(A)/F-2(A)/F-3(A)		
	0..3000 A (±10 kA)	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas
	Pinzas flexibles F-2AHD/F-3AHD		
	0..3000 A (±10 kA max)	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas
	Pinzas flexibles F-1A6/F-2A6/F-3A6		
	0..6000 A (±20 kA max)	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas
	Pinzas flexibles F-1A1/F-2A1/F-3A1		
	0..1500 A (±5 kA max)	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas
	Pinzas CT C-4(A)		
	0...1200 A	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas
Pinzas CT C-5A			
0...1400 A	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas	
Pinzas CT C-6(A)			
0..12 A	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas	
Pinzas CT C-7(A)			
0..100 A	4 c.s.	Incertidumbre adicional Consulte las manual de uso de las pinzas	
Factor de cresta	1..10 (1..3,6 para I _{nom}) para I _{RMS} ≥ 1% I _{nom}	0,01	±5%

6.3.4 Frecuencia

Frecuencia	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
f	40..70 Hz $10\% U_{nom} \leq U_{RMS} \leq 120\% U_{nom}$	0,01 Hz	$\pm 0,05$ Hz

6.3.5 Armónicos

Armónicos	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
Orden del armónico (n)	DC, 1..50, agrupación: subgrupos armónicos según IEC 61000-4-7		
Amplitud U_{RMS}	$0..200\% U_{nom}$	4 c.s.	$\pm 0,15\% U_{nom}$ si v.m. $< 3\% U_{nom}$ $\pm 5\%$ v.m. si v.m. $\geq 3\% U_{nom}$ (según IEC 61000-4-7 clase II)
Amplitud I_{RMS}	Dependiendo de las pinzas utilizadas (ver especificación I_{RMS})	4 c.s.	$\pm 0,5\% I_{nom}$ si v.m. $< 10\% I_{nom}$ $\pm 5\%$ v.m. si v.m. $\geq 10\% I_{nom}$ (según IEC 61000-4-7 clase II)
THD-R de tensión (n = 2..40 o n = 2..50)	$0,0...100,0\%$ para $U_{RMS} \geq 1\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$
THD-R de corriente (n = 2..40 o n = 2..50)	$0,0...100,0\%$ para $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$
TDD (n = 2..40)	depende de I_L	depende de I_L	depende de I_L

6.3.6 Potencia y energía

Potencia y energía	Condiciones (para potencia y energía $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 120\% U_{nom}$)	Resolución	Incertidumbre básica ⁽¹⁾
Potencia activa Energía activa	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$ $\cos\phi = 1$	4 c.s.	$\sqrt{2,5^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\cos\phi = 1$		$\sqrt{2,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 10\% I_{nom}$ $\cos\phi = 0,5$		$\sqrt{2,5^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\cos\phi = 0,5$		$\sqrt{2,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
Potencia reactiva Energía reactiva	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$ $\sin\phi = 1$	4 c.s.	$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\phi = 1$		$\sqrt{3,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 10\% I_{nom}$ $\sin\phi = 0,5$		$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\phi = 0,5$		$\sqrt{3,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\phi = 0,25$		$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$
Potencia aparente Energía aparente	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$	4 c.s.	$\pm 2,5\%$
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$		$\pm 2,0\%$
Factor de potencia (PF)	$0...1$ $50\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$ $10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$	0,01	$\pm 0,03$
Factor de desplazamiento de fase ($\cos\phi/DPF$)	$0...1$ $50\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$ $10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$	0,01	$\pm 0,03$

(1) Ver el sección 6.3.7.

6.3.7 Estimación de incertidumbre de medición de potencia y energía

Incertidumbre total de medición de potencia y de energía activa y reactiva (componente fundamental) y la potencia de armónicos se basa en general en la siguiente relación (para la energía se omite la incertidumbre adicional de la medición resultante de tiempo por ser mucho menor que otras incertidumbres):

$$\delta_{p,q} \cong \sqrt{\delta_{U_h}^2 + \delta_{I_h}^2 + \delta_{ph}^2}$$

donde: $\delta_{p,q}$ – incertidumbre de medición de potencia activa o reactiva,
 δ_{U_h} – incertidumbre sumaria de medición de amplitud armónica de tensión (analizador, transformadores, pinzas),
 δ_{I_h} – incertidumbre sumaria de medición de amplitud armónica de corriente (analizador, transformadores, pinzas),
 δ_{ph} – incertidumbre adicional resultante de error de medición de la fase entre armónicos de tensión y corriente.

La incertidumbre δ_{ph} puede ser determinada, si se conoce el ángulo de desplazamiento de fase para el rango de frecuencia que nos interesa. En la se presenta error de diferencia de fases entre armónicos de tensión y de corriente para el analizador PQM-700 (sin pinzas y transformadores).

Tabla 6. Error de fase del analizador PQM-700 dependiendo de la frecuencia.

Rango de frecuencia	0..200Hz	200..500Hz	500Hz..1kHz	1..2kHz	2..3kHz
Error	≤1°	≤2,5°	≤5°	≤10°	≤15°

El error de fase introducido por transformadores y pinzas utilizados en general se puede encontrar en su documentación técnica. En tal caso es necesario estimar el error resultante de fase entre tensión y corriente para la frecuencia que nos interesa e introducido por todos los elementos de medición como: transformadores de tensión y corriente, pinzas y analizador.

La incertidumbre de medición resultante de error de fase para la potencia activa de armónicos se puede determinar a base de la relación:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi)}{\cos\varphi} \right) [\%] \cos\varphi \neq 0,$$

En cambio, la incertidumbre de medición de potencia reactiva de armónicos se puede determinar a base de la relación:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\sin(\varphi - \Delta\varphi)}{\sin\varphi} \right) [\%] \sin\varphi \neq 0,$$

En ambas fórmulas φ significa el ángulo real de desplazamiento entre armónicos de corriente y tensión, y $\Delta\varphi$ error sumario de fase para la frecuencia dada. De las relaciones presentadas se puede deducir que la incertidumbre de medición de potencia, para el mismo error de fase, depende evidentemente del factor de desplazamiento de fase entre corriente y tensión. Esto se presenta en la Fig. 15.

Ejemplo

Cálculo de incertidumbre de medición de potencia activa de la componente fundamental.

Condiciones: $\varphi = 60^\circ$, $U_{RMS} \equiv U_{nom}$, $I_{RMS} = 5\% I_{nom}$.

$$\pm \sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$$

Incertidumbre básica es:

Para el rango de frecuencia de 0 a 200 Hz el error de fase de PQM-700 es 1° . Después de sustituir a la relación:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi)}{\cos\varphi} \right) = 100 \left(1 - \frac{\cos(61^\circ)}{\cos(60^\circ)} \right) = 3,04\%$$

por lo tanto, la incertidumbre de la medición es:

$$\delta = \pm \sqrt{1,0^2 + 3,04^2} = \pm 3,20\%$$

En las mismas condiciones, pero con el desplazamiento de fase $\varphi = 10^\circ$, obtendremos:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(11^\circ)}{\cos(10^\circ)} \right) = 0,32\%$$

y la incertidumbre de la medición será:

$$\delta = \pm \sqrt{1,0^2 + 0,32^2} = \pm 1,05\%$$

Estos cálculos no tienen en cuenta los errores adicionales introducidos por las pinzas de corriente y los transformadores utilizados.

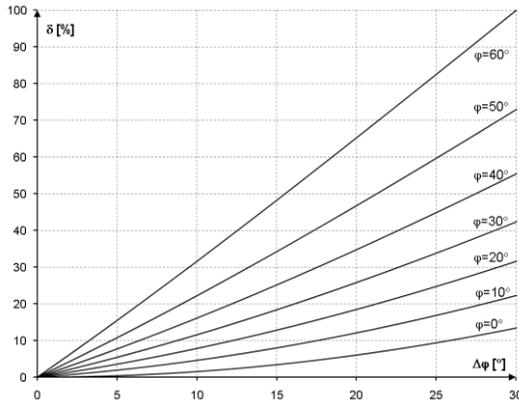


Fig. 15. La incertidumbre adicional resultante del error de fase, dependiendo del ángulo de desplazamiento de fase.

6.3.8 Parpadeo de luz

Parpadeo de luz (flicker)	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
P_{st} (10 min), P_{ri} (2 h)	0,4...10 para $U_{RMS} \geq 80\% U_{nom}$	0,01	$\pm 10\%$ dentro del límite de valores presentados en la tabla según la norma IEC 61000-4-15

6.3.9 Desequilibrio

Desequilibrio (tensión y corriente)	Rango y condiciones	Resolución	Incertidumbre básica
Factor de desequilibrio de secuencia positiva, negativa y cero	0,0%...10,0% para $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 0,3\%$ (incertidumbre absoluta)

6.4 Detección de eventos: valores eficaces de tensión y corriente

Tensión U_{RMS} (huecos, interrupciones y aumento)	Rango	Resolución	Incertidumbre básica
$U_{RMS(1/2)}$	0,0%...120,0% U_{nom}	4 c.s.	$\pm 1\% U_{nom}$
Umbral de detección	Ajustados por el usuario en porcentos o valores absolutos. Detección de eventos basada en la medición $U_{RMS(1/2)}$ (valor eficaz de 1 período actualizado cada $\frac{1}{2}$ período).		
Tiempo de duración	hh:mm:ss.ms	Semiperíodo	Un período
Registro de forma de onda	2 períodos antes del evento + 4 períodos después del evento (en total 6 períodos) 204,8/170,67 (50 Hz/60 Hz) muestras por período		

Corriente I_{RMS} (mín., máx.)	Rango	Resolución	Incertidumbre básica
$I_{RMS(1/2)}$	0,0%...100,0% I_{nom}	4 c.s.	$\pm 0,5\% I_{nom}$
Umbral de detección	Ajustados por el usuario en porcentos o valores absolutos. Detección de eventos basada en la medición $I_{RMS(1/2)}$ (valor eficaz de 1 período actualizado cada $\frac{1}{2}$ período).		
Tiempo de duración	hh:mm:ss.ms	Semiperíodo	Un período
Registro de forma de onda	2 períodos antes de evento + 4 períodos después de evento (en total 6 períodos) 204,8/170,67 (50 Hz/60 Hz) muestras por período		

6.5 Detección de eventos: otros parámetros

Parámetro	Rango	Método de detección
Frecuencia (mín., máx.)	40...70 Hz (porcentual o absoluta)	Detección basada en la medición de 10 s (según IEC 61000-4-30)
Factor de pico de tensión (mín., máx.)	1,0...10,0	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de pico de corriente (mín., máx.)	1,0...10,0	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de desequilibrio de componente de secuencia negativa de tensión (máx.)	0,0...20,0%	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de desequilibrio de componente de secuencia negativa de corriente (máx.)	0,0...20,0%	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Flicker de corta duración P_{st} (máx.)	0..20	Basándose en el valor de 10 minutos
Flicker de larga duración P_L (máx.)	0..20	Basándose en el valor de 2 horas
Potencia activa P (mín., máx.)	Dependiendo de la configuración	Basándose en el valor de 10/12 períodos (para la potencia consumida y devuelta)
Potencia reactiva Q (mín., máx.)	Dependiendo de la configuración	Basándose en el valor de 10/12 períodos (para la potencia consumida y devuelta)
Potencia aparente S (mín., máx.)	Dependiendo de la configuración	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Potencia de distorsión D/Potencia aparente de distorsión S_N (mín., máx.)	Dependiendo de la configuración	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de potencia PF (mín., máx.)	0...1	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de desplazamiento de fase $\cos\phi$ /DPF (mín., máx.)	0...1	Basándose en el valor de 10/12 períodos
$\tan\phi$ 4 cuadrantes (mín., máx.)	0...10	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Energía activa E_P (máx.)	Dependiendo de la configuración	Si excede, se comprueba cada 10/12 períodos (para la energía consumida y devuelta)
Energía reactiva E_Q 4 cuadrantes (máx.)	Dependiendo de la configuración	Si excede, se comprueba cada 10/12 períodos (para la energía consumida y devuelta)

6 Datos técnicos

Energía aparente E_s (máx.)	Dependiendo de la configuración	Si excede, se comprueba cada 10/12 períodos
Factor de contenidos armónicos THD-F de tensión (máx.)	0...100%	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Factor de contenidos armónicos THD-F de corriente (máx.)	0...200%	Basándose en el valor de 10/12 períodos
Amplitudes de armónicos de tensión (máx.)	0...100% o en absoluto	Basándose en el valor de 10/12 períodos; Umbrales independientes para todos los armónicos en el rango de 2...50
Amplitudes de armónicos de corriente (máx.)	0...200% o en absoluto	Basándose en el valor de 10/12 períodos; Umbrales independientes para todos los armónicos en el rango de 2...50

6.5.1 Histéresis de detección de eventos

Histéresis de detección de eventos	Rango	Método de cálculo
Histéresis	0..10%	Para cada uno de los parámetros se calcula como porcentaje del umbral máx.

6.6 Medición de corriente de arranque

Rango	Resolución	Error básico
0...100% In	4 c.s.	$\pm 0,5\%$ In

- medición de tensión y corriente cada medio período en todos los canales (se promedia cada $\frac{1}{2}$ período),
- tiempo de medición hasta 60 s.

6.7 Registro

Registrador	
Tiempo para el cálculo de la media ⁽¹⁾	1 s, 3 s, 10 s, 30 s, 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min. Modo especial: $\frac{1}{2}$ período (para el registro de ondas con el tiempo limitado de registro hasta 60 s, p.ej. para la corriente de arranque) ⁽²⁾
Cálculo de la media mín./máx. para U_{RMS}	$\frac{1}{2}$ período, período, 200 ms, 1 s, 3 s, 5 s ⁽³⁾
Cálculo de la media mín./máx. para I_{RMS}	$\frac{1}{2}$ período, período, 200 ms, 1 s, 3 s, 5 s ⁽³⁾
Captura de formas de onda	Posibilidad de registro de 3 períodos de formas de onda de canales activos después de cada período de cálculo de la media
Modo de activación de registro	manual desde primer evento detectado según horario (cuatro intervalos de tiempo definidos)
Puntos de medición	1, configuración independiente de usuario
Tiempo de registro	Dependiendo de la configuración
Memoria	Tarjeta de memoria de 2 GB incorporada
Modelo de memoria	Lineal
Seguridad	Posibilidad de bloqueo de teclado para evitar el acceso no autorizado

- (1) Los tiempos de cálculo de la media menores a 10 s, de hecho, son iguales al múltiplo del período de red: 1 s - 50/60 períodos, 3 s - 150/180 períodos.
- (2) $U_{RMS(1/2)}$ y $I_{RMS(1/2)}$ son los valores eficaces para un período, se actualizan cada medio período.
- (3) Períodos de cálculo de la media mín./máx. de 1 s, 3 s en realidad equivalen al múltiplo del período de red: 1 s - 50/60 períodos, 3 s - 150/180 períodos.

Parámetros registrados	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor instantáneo
Tensión eficaz de fase/entre fases (dependiendo del tipo de sistema) U_{RMS}	•	•	•	•
Tensión eficaz entre fases (sólo sistema de 3 fases tipo estrella con N y de 2 fases) U_{RMS}	•			
Corriente eficaz I_{RMS}	•	•	•	•
Frecuencia f	•	•	•	•
Factor de pico de tensión CF U	•	•	•	•
Factor de pico de corriente CF I	•	•	•	•
Factores de desequilibrio de secuencia positiva y negativa, componentes equilibradas de secuencia: positiva, negativa, cero (tensión) U_0, U_1, U_2, U_0, U_2	•	•	•	•
Factores de desequilibrio de secuencia positiva y negativa, componentes equilibradas de secuencia: positiva, negativa, cero (corriente) I_0, I_1, I_2, I_0, I_2	•	•	•	•
Indicadores de parpadeo de luz P_{st} y P_{fl}	•	•	•	•
Potencia activa (consumida y devuelta) P_+, P_-	•	•	•	•
Potencia reactiva (consumida y devuelta) $Q_{1+}, Q_{1-} / Q_{B+}, Q_{B-}$	•	•	•	•
Potencia aparente S	•	•	•	•
Potencia de distorsión D/ Potencia aparente de distorsión S_N	•	•	•	•
Factor de potencia PF	•	•	•	•
Factor de desplazamiento de fase $\cos\phi/DPF$	•	•	•	•
Coefficiente $\tan\phi$ (4 cuadrantes): $\tan\phi_{(L+)}, \tan\phi_{(C-)}, \tan\phi_{(L-)}, \tan\phi_{(C+)}$	•	•	•	•
Energía activa (consumida y devuelta) E_{P+}, E_{P-}				•
Energía reactiva (4 cuadrantes): $E_{Q(L+)}, E_{Q(C-)}, E_{Q(L-)}, E_{Q(C+)}$				•
Energía aparente E_S				•
Factor de distorsiones armónicas THD-F de tensión	•	•	•	•
Factor de distorsiones armónicas THD-F de corriente	•	•	•	•
Factor TDD	•			
Amplitudes de armónicos de tensión $U_{h1} \dots U_{h50}$	•	•	•	•
Amplitudes de armónicos de corriente $I_{h1} \dots I_{h50}$	•	•	•	•

6.8 Alimentación de la red, batería y calentador

Alimentación de la red		
Rango de tensiones de entrada (nominal)	100...415 V AC, 40...70 Hz 140...415 V DC	
Rango de tensiones de entrada (con fluctuaciones)	90...460 V AC, 40...70 Hz 127...460 V DC	
Categoría de sobretensión del alimentador	altitud hasta 4000 m: CAT IV 300 V / CAT III 415 V / CAT III 460 V (fluctuaciones incluidas) altitud 4000-5000 m: CAT III 300 V / CAT II 415 V / CAT II 460 V (fluctuaciones incluidas)	
Consumo de energía de la red (máximo)	30 VA	
Consumo de energía de la red en función de la configuración (típico)	sin carga de la batería, el calentador apagado, la fuente de alimentación 230 V AC	6 VA / 3 W
	sin carga de la batería, el calentador activado, la fuente de alimentación 230 V AC	11 VA / 8 W
	la carga de la batería, el calentador apagado, la fuente de alimentación 230 V AC	14 VA / 11 W
	la carga de la batería, el calentador activado, la fuente de alimentación 230 V AC	22 VA / 16 W
	la carga de la batería, el calentador activado, la fuente de alimentación 400 V AC	27 VA / 16 W

6 Datos técnicos

Batería	
Tipo	Li-Ion 4,4 Ah
Tiempo de funcionamiento con alimentación de batería	> 6 h
Tiempo de carga de batería (completamente descargada)	hasta 8 h
Rango de temperatura admisible de la carga	-10°C ...+60°C
Consumo de corriente de la batería en modo de analizador off (falta de alimentación de la red)	< 1 mA

Calentador	
Umbral de temperatura de encendido de calentador	+5°C
Alimentación del calentador	de fuente de alimentación incorporada
Potencia del calentador	hasta 5 W

6.9 Redes compatibles

Tipos de redes compatibles (directa e indirectamente)	
1 fase	Monofásica con conductor neutro (terminales L1, N)
2 fases (split-phase)	Bifásica con conductor neutro (terminales L1, L2, N)
3 fases tipo estrella con N	Trifásica de 4 hilos (terminales L1, L2, L3, N)
3 fases tipo triángulo	Trifásica de 3 hilos (terminales L1, L2, L3, N conectado con L3)
3 fases tipo triángulo de Aron	Trifásica de 3 hilos (terminales L1, L2, L3, N conectado con L3), con dos pinzas de corriente
3 fases tipo estrella sin N	Trifásica tipo estrella de 3 hilos (terminales L1, L2, L3, N conectado con L3)
3 fases tipo estrella sin N de Aron	Trifásica tipo estrella de 3 hilos (terminales L1, L2, L3, N conectado con L3), con dos pinzas de corriente

6.10 Pinzas de corriente compatibles

Tipos compatibles de pinzas de corriente	
F-1(A)	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 120 cm, rango de medición 3000 A _{RMS}
F-2(A)	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 80 cm, rango de medición 3000 A _{RMS}
F-3(A)	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 45 cm, rango de medición 3000 A _{RMS}
F-2AHD	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 91,5 cm, rango de medición 3000 A _{RMS}
F-3AHD	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 45 cm, rango de medición 3000 A _{RMS}
F-1A6	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 120 cm, rango de medición 6000 A _{RMS}
F-2A6	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 80 cm, rango de medición 6000 A _{RMS}
F-3A6	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 45 cm, rango de medición 6000 A _{RMS}
F-1A1	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 120 cm, rango de medición 1500 A _{RMS}
F-2A1	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 80 cm, rango de medición 1500 A _{RMS}
F-3A1	Pinza flexible (bobina de Rogowski), circunferencia de 45 cm, rango de medición 1500 A _{RMS}
C-4(A)	Pinzas tipo CT, AC, rango de medición 1200 A _{RMS}
C-5A	Pinzas tipo CT con sensor de efecto Hall, AC/DC, rango de medición 1400 A _{RMS}
C-6(A)	Pinzas tipo CT, AC, para corrientes bajas, rango de medición 12 A _{RMS}
C-7(A)	Pinzas tipo CT, AC, rango de medición 100 A _{RMS}

NOTA: La pinza con la letra A al final del nombre (por ejemplo F-3A) es un tipo de pinza con la detección automática de su tipo en dispositivos compatibles. Los otros parámetros son los mismos que en caso de la pinza sin esta detección. La detección del tipo de pinza está disponible en los analizadores PQM-700 en las versiones de hardware HWc y más nuevos, junto con el firmware 1.30 o más nuevo.

6.11 Comunicación

Comunicación	
USB	Velocidad máxima de transmisión: 921,6 kbit/s Compatible con USB 2.0

6.12 Condiciones ambientales y otros datos técnicos

Condiciones ambientales	
Rango de temperatura de trabajo	-20°C...+55°C
Rango de temperatura de almacenamiento	-30°C...+60°C
Humedad	10...90% con condensación posible
Altitud operativa	hasta 4000 m (4000-5000 m con categoría de medición rebajada CAT III 300 V / CAT II 600 V)
Estanqueidad (según IEC 60529)	IP65
Condiciones de referencia	Temperatura ambiente: 23°C ±2°C Humedad: 40...60%
Dimensiones	200 x 180 x 77 mm (sin cables)
Peso	aprox. 1,6 kg
Pantalla	5 diodos LED que indican el estado de trabajo
Memoria de datos	tarjeta de memoria extraíble de 2 GB (estándar), ampliable hasta 32 GB (opcional).

6.13 Seguridad y compatibilidad electromagnética

Seguridad y EMC	
Conformidad con	IEC 61010-1, edición 3.0
Categoría de medición (entradas de medición)	Altitud hasta 4000 m: IV 300 V / III 600 V / II 760V Altitud 4000-5000 m: III 300 V / II 600 V clase de contaminación 2
Categoría de sobretensión (alimentador de la red)	Altitud hasta 4000 m: IV 300 V / III 415 V / III 460 V (incluyendo las fluctuaciones) Altitud 4000-5000 m: III 300 V / II 415 V / II 460 V (incluyendo las fluctuaciones) clase de contaminación 2
Aislamiento	Doble según IEC 61010-1
Compatibilidad electromagnética	IEC 61326
Resistencia a alteraciones con frecuencias de radio	IEC 61000-4-3 modulación sinusoidal 80% AM, 1 kHz 80...1000 MHz, 10 V/m 1,4...2,0 GHz, 3 V/m 2,0...2,7 GHz, 1 V/m
Resistencia a descargas electrostáticas	IEC 61000-4-2 Descarga en aire: 8 kV Descarga al contacto: 4 kV
Resistencia a perturbaciones conducidas, inducidas por campos de radiofrecuencia	IEC 61000-4-6 modulación sinusoidal 80% AM, 1 kHz 0,15...80 MHz, 10 V
Resistencia a series de estados rápidos eléctricos transitorios	IEC 61000-4-4 Amplitud 2 kV, 5 kHz
Resistencia a hipertermias	IEC 61000-4-5 Amplitud 2 kV (L-L)
Emisión de alteraciones radiadas con radiofrecuencia	IEC 61000-6-3 30...230 MHz, 30 dB(μV/m) en distancia de 10m 230...1000 MHz, 37 dB(μV/m) en distancia de 10m
Emisión de alteraciones conducidas	IEC 61000-6-3 Niveles para el detector cuasi-pico: 0,15 kHz...0,5 MHz: 66 dBμV...56 dBμV 0,5 MHz...5 MHz: 56 dBμV 5 MHz...30 MHz: 60 dBμV

6.14 Estándares

Estándares	
Métodos de medición	IEC 61000-4-30 clase S
Precisión de mediciones	IEC 61000-4-30 clase S
Calidad de energía	EN 50160
Parpadeo de luz	IEC 61000-4-15
Armónicos	IEC 61000-4-7
Estándar de calidad	elaboración, proyecto y producción de acuerdo con ISO 9001

7 Limpieza y mantenimiento

Nota

Se deben utilizar únicamente los métodos de conservación proporcionados por el fabricante en este manual.

La carcasa del analizador puede ser limpiada con un paño suave y humedecido con detergentes comúnmente utilizados. No utilizar disolventes ni productos de limpieza que puedan rayar la carcasa (polvos, pastas, etc.).

Los cables se pueden limpiar con agua y detergentes, luego deben ser secados.

El sistema electrónico del analizador no requiere mantenimiento.

8 Almacenamiento

Durante el almacenamiento del dispositivo, hay que seguir las siguientes instrucciones:

- desconectar todos los cables del medidor,
- limpiar bien el medidor y todos los accesorios,
- para evitar la descarga total de las baterías durante el almacenamiento prolongado, las baterías deben ser recargadas periódicamente.

9 Desmontaje y utilización

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos deben ser recogidos por separado, es decir, no se depositan con los residuos de otro tipo.

El dispositivo electrónico debe ser llevado a un punto de recogida conforme con la Ley de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Antes de llevar el equipo a un punto de recogida no se debe desarmar ninguna parte del equipo.

Hay que seguir las normativas locales en cuanto a la eliminación de envases, pilas usadas y baterías.

10 Accesorios adicionales

- Los parámetros se refieren a las pinzas que se ofrecen actualmente. Las especificaciones de todas las pinzas de una serie se encuentran en el manual de uso del accesorio correspondiente.
- La lista completa de accesorios se puede encontrar en el sitio web del fabricante.

				
	C-4A	C-5A	C-6A	C-7A
	WACEGC4AOKR	WACEGC5AOKR	WACEGC6AOKR	WACEGC7AOKR
Corriente nominal	1200 A AC	1000 A AC 1400 A DC	12 A AC	100 A AC
Frecuencia	30 Hz...10 kHz	DC...5 kHz	40 Hz...10 kHz	40 Hz...1 kHz
Diámetro máx. del conductor medido	52 mm	39 mm	20 mm	24 mm
Precisión mínima	≤0,5%	≤1,5%	≤1%	0,5%
Alimentación con baterías	—	√	—	—
Longitud de cable	2,2 m	2,2 m	2,2 m	3 m
Categoría de medición	IV 300 V	IV 300 V	IV 300 V	III 300 V
Protección de ingreso	IP40			

					
	F-1A1 / F-1A / F-1A6	F-2A1 / F-2A / F-2A6	F-3A1 / F-3A / F-3A6	F-2AHD	F-3AHD
	WACEGF1A1OKR WACEGF1AOKR WACEGF1A6OKR	WACEGF2A1OKR WACEGF2AOKR WACEGF2A6OKR	WACEGF3A1OKR WACEGF3AOKR WACEGF3A6OKR	WACEGF2AHDOKR	WACEGF3AHDOKR
Corriente nominal	1500 / 3000 / 6000 A AC	1500 / 3000 / 6000 A AC	1500 / 3000 / 6000 A AC	3000 A AC	
Frecuencia	40 Hz...10 kHz			10 Hz...20 kHz	
Diámetro máx. del conductor medido	380 mm	250 mm	140 mm	290 mm	145 mm
Precisión mínima	0,5%			0,5%	
Alimentación con baterías	—			—	
Longitud de cable	2,5 m			2,5 m	
Categoría de medición	IV 600 V			IV 600 V	
Protección de ingreso	IP67			IP65	

11 Fabricante

El fabricante del dispositivo que presta el servicio de garantía y postgarantía es:

SONEL S.A.
Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polonia
tel. +48 74 884 10 53 (Servicio al cliente)
e-mail: customerservice@sonel.com
internet: www.sonel.com

Nota

Para el servicio de reparaciones sólo está autorizado el fabricante.

NOTAS

NOTAS



SONEL S.A.

Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polonia

Servicio al cliente

tel. +48 74 884 10 53
e-mail: customerservice@sonel.com

www.sonel.com