

# El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica

Francisco Casellas\*, Guillermo Velasco\*, Francesc Guinjoan\*\* y Robert Piqué\*

Departament d'Enginyeria Electrònica (DEE) – Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

\*EUETIB - Compte d'Urgell 187, 08036 – Barcelona (Spain)

\*\* ETSETB - C. Jordi Girona, 1-3. 08934 - Barcelona (SPAIN)

**Resumen—.** *La medición inteligente se ha convertido en un tema de la máxima actualidad y de importancia creciente; ya se aplica la normativa para su despliegue, se desarrollan proyectos piloto y han llegado al mercado nuevos dispositivos.*

*En este trabajo se recogen propuestas y tendencias de los contadores actuales de energía eléctrica. El contador se representa como la interfaz entre el sistema del usuario, que es el consumidor-productor distribuido de energía, y la red eléctrica. A partir de esta relación y con la tecnología electrónica actual aparece el concepto denominado “smart metering”.*

*El documento describe las funciones de los contadores de energía eléctrica desde el inicio, con el contador electromecánico hace 120 años, hasta los dispositivos actuales. Se incluyen las características genéricas de medida, las tecnologías de estos equipos y referencias normativas que utilizan estos sistemas de medida de energía eléctrica. Se concluye con las tendencias previsibles en un futuro inmediato.*

**Términos —** *Contador de estado sólido, Medida de energía, Smart meter, Telegestión.*

## I. INTRODUCCIÓN

A finales de 2010 termina la primera fase con el 30%, para la renovación de los contadores eléctricos actuales que deberán sustituirse por otros electrónicos capaces de trabajar con discriminación horaria y la telegestión, la cuarta fase concluye a finales del 2018 con el despliegue total de los equipos.

La aplicación de los equipos de medida electrónicos actuales viene impulsada por la directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos [1], este impulso lo recogen las normas para el mercado interior de la electricidad.

El Real Decreto 809/2006 [2], indica que “a partir del 1 de julio de 2007, los equipos de medida deberán permitir la discriminación horaria de las medidas así como la telegestión”, se pasa a establecer el denominado "Plan Contador" que obliga la sustitución de contadores de medida y define los plazos de sustitución de estos equipos.

Este trabajo se ha desarrollado gracias a las personas que componen la URT de EdePAE y ha sido parcialmente financiado por el Ministerio español de Ciencia e Innovación y por la Unión Europea (FEDER) a través de los proyectos con referencia: DPI-2009-14713-C03-03 y RUE CSD2009-00046, del programa Consolider-Ingenio 2010.

Para proporcionar la información en tiempo real o la discriminación horaria es necesario un equipo de medida distinto al contador electromecánico y con prestaciones especiales. Por lo tanto se necesita definir una nueva forma de medir denominada *Smart Metering* o medición inteligente, esta se refiere al proceso de medida por el cual se cuantifica y transmite instantáneamente la información de las cantidades de energía consumidas o producidas para su gestión en la red eléctrica. Esta energía puede ser en cualquier soporte físico pero se determina principalmente como energía eléctrica, y se denomina *submetering* en el caso de gas u otro recurso como agua y fluido caloportador.

Para el sector eléctrico *Smart Metering* incluye la posibilidad de actuar sobre el sistema de consumo con la acción de conexión-desconexión mediante el *Interruptor de Control de Potencia* (ICP) de la instalación, que puede estar integrado en el propio contador [3].

Los primeros sistemas *Smart Metering* implementados se basan en sistemas electrónicos de medida y tienen como objeto principal dos aspectos:

- Mantener informado al consumidor-productor de energía de los valores actuales del flujo energético.
- Cuantificar instantáneamente el estado de la red de distribución en el lado del consumidor.

En la vertiente de información permite al usuario establecer sus políticas correspondientes de consumo, ahorro o producción de energía con objeto de minimizar el impacto ambiental y económico por la utilización de energía [4]. El usuario con sus decisiones se transforma en parte del sistema gestor de la red.

En la vertiente de cuantificación permite al proveedor de energía realizar de forma más eficiente su trabajo, como es controlando la calidad del servicio, y proporcionando nuevos servicios a los usuarios, como son las tarifas personalizadas.

La definición evoluciona según avanza el desarrollo tecnológico, reservándose el término inteligente a los dispositivos de última generación o del futuro próximo [5].

El objeto de este documento es presentar el ámbito de utilización de los contadores de energía actuales en el entorno de la red eléctrica, para lo cual se indica como está estructurada esta red y el lugar que ocupa el dispositivo para determinar la energía eléctrica que lo atraviesa.

A continuación se indican los distintos tipos de contadores desde un punto de vista evolutivo, que se inicia con el contador electromecánico hasta los actuales contadores de estado sólido, sigue una clasificación operativa y el detalle tecnológico de funcionamiento de estos equipos de medida.

Los nuevos servicios obtenidos con los contadores más modernos permiten implementar aplicaciones en las medidas de otros parámetros energéticos no eléctricos facilitando la automatización a usuarios y gestores.

## II. LA MEDIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### A. La red eléctrica

La red eléctrica, la red, no es una entidad única sino el conjunto de múltiples sub-redes con una estructura jerárquica y con un flujo neto de energía, de hecho es la máquina más grande fabricada.

La red está compuesta por los elementos de generación eléctrica, las líneas de transporte normalmente en estructura anular en alta tensión, estaciones transformadoras, las líneas de distribución en estructura radial, normalmente en media tensión y en baja tensión, y los distintos consumidores [6]. Fluyendo la energía del productor al consumidor a lo largo de la red.

La utilización de las energías renovables implica cambio en la forma de la producción ya que las fuentes de energía distribuidas, *Distributed Energy Resource* (DER), en empresas y hogares comienzan a implantarse para generar electricidad lo que les permite vender la energía excedente, modificando el flujo de energía en la red de distribución.

La evolución del sistema es necesaria para tener una mayor eficacia en el consumo, se necesita gestión en tiempo real de los flujos de energía y proporcionar medida bidireccional en la producción de energía local. Así la tendencia actual es lo que se denomina *Smart Grid* entendiéndose como un sistema de gestión, información y comunicaciones aplicado a la red eléctrica [7], es un concepto cuyo objeto es aumentar conectividad, automatización y coordinación entre productores, proveedores y consumidores en la red de distribución, lo que implica que se tienen dos redes en paralelo, una de energía y otra de información (Fig. 1).

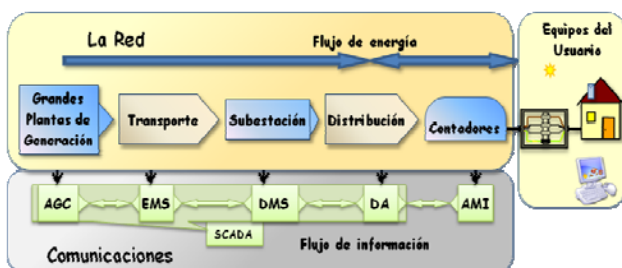


Fig. 1. Flujo de energía en la red eléctrica, aparece con una red en paralelo para llevar la información que permite la gestión de la energía.

AGC: Automatic generation control  
 EMS: Energy Management System  
 SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition  
 DMS: Distribution Management System  
 DA: Distribution Automation  
 AMI: Advanced Meter Infrastructure

Esta red eléctrica inteligente puede integrar las acciones de todos a los elementos conectados a la misma, los generadores, consumidores y gestores a fin de entregar eficientemente de forma sostenible, económica y segura el suministro eléctrico [8].

*Smart Grid* implementa equipos y servicios novedosos, que junto con la monitorización inteligente, control, comunicación y tecnologías de auto-verificación pretenden:

- Facilitar la conexión y el funcionamiento de los generadores, cargas y acumuladores de diferentes tamaños y tecnologías.
- Permitir a los consumidores desempeñar un papel en la optimización del funcionamiento del sistema.
- Proporcionar a los consumidores una mayor información y elección de la oferta.
- Reducir significativamente el impacto ambiental de todo el sistema de suministro de electricidad, optimizando su consumo.
- Ofrecen mejoras de los niveles de fiabilidad y seguridad del suministro.

La participación activa del consumo en la red permite contribuir a mejorar la eficiencia de uso, pero sólo si hay una actividad coordinada entre la red, contador de energía, usuarios y fabricantes de dispositivos consumidores.

Punto importante del proceso es determinar la energía eléctrica consumida de la red, así para la gestión del servicio se necesita un dispositivo que cuantifique el valor de la energía, que memorice este valor y que presente a la compañía comercializadora-gestora o al usuario la cantidad, cuentas o pulsos, correspondientes a la energía que ha atravesado el dispositivo y gestionado la red.

### B. Energía eléctrica

Los sistemas eléctricos de medida energética determinan dos tipos de variables a medir: *energía y potencia*.

- En física: energía se define como la capacidad para realizar un trabajo.
- En física: potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

Las medidas a realizar por el equipo contador son la potencia y la energía, activa y reactiva en monofásica o trifásica. Para la potencia en VA y VA reactivos. Para la energía kWh y kVAh reactivos [9].

Las señales que intervienen en la medida son tensión  $v(t)$  y corriente  $i(t)$ , se consideran como sinusoides desfasadas un determinado ángulo  $\varphi$ . Donde  $V$  e  $I$  son los valores eficaces respectivos.

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

La potencia instantánea  $p(t)$  será el producto de los valores instantáneos de estas  $v(t)$  e  $i(t)$ .

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (2)$$

$$p(t) = 2 \cdot V \cdot I \cdot \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) = V \cdot I \cdot [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

En monofásica el primer término después de la última

igualdad,  $V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ , define la potencia activa, la que realiza trabajo, siendo constante para los valores eficaces constantes (3). La potencia reactiva es la producida por los campos eléctricos y magnéticos, debida a que el consumidor presenta carácter capacitivo o más comúnmente inductivo (4). La suma fasorial de estas potencias (3) y (4) se denomina potencia aparente (5).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

El término de la energía es el valor acumulado de la potencia a lo largo del tiempo (puede ser el valor de facturación), la expresión de la energía total es:

$$E = \int_0^T v(t)i(t)dt \quad (6)$$

Las medidas de estas señales se ven muy influenciadas por el ángulo entre los fasores tensión-corriente y la distorsión en las formas de onda debidas al contenido armónico de las ondas de tensión y de las formas de ondas de corriente.

### III. LOS CONTADORES DE ENERGÍA

El equipo para la medida de la energía eléctrica consumida es un contador eléctrico o *meter* el cual consta de tres elementos principales, como son el sistema de medida, el elemento de memoria y el dispositivo de información (Fig. 2).

En este sentido el contador eléctrico realiza la función de interfaz de la red con el usuario, es el *front-end* de la red.

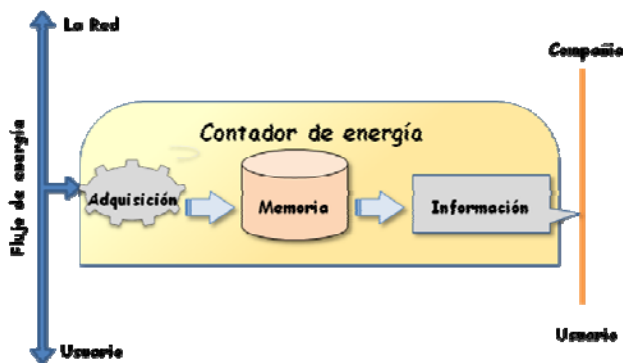


Fig. 2. Estructura genérica del contador de energía eléctrica.

Los equipos de medida de energía eléctrica pueden clasificarse según sus características [10]:

- Tecnológicas, pudiendo ser contadores electromecánicos o electrónicos (contadores de estado sólido).
- Funcionales como monofásicos o trifásicos.
- Energéticas como contadores de activa y/o contadores de reactiva.
- Operativas como dispositivo de tipo registrador o programables que permiten la telegestión.

Los equipos de tipo registrador pueden ser de las dos tecnologías:

- Electromecánicos que permiten medir solamente un

tipo de energía, kWh acumulados o kVAh acumulados, no poseen discriminación tarifaria siendo los contadores estándar electromecánicos de inducción.

- Electrónicos, *Automatic Meter Reading* (AMR), permiten medir solamente energía acumulada, registran la medida de energía total mensual o por intervalos de tiempo predefinidos. Contemplan comunicación bidireccional básica entre el medidor y el servidor de datos, permitiendo a partir de esta tecnología las medidas de tiempo de utilización, *Time of Use* (ToU).

Los equipos programables de medida, son de tipo electrónico:

- *Advanced Meter Infrastructure* (AMI), estos equipos permiten la lectura del consumo “a la carta” de la energía acumulada o de la potencia instantánea, admiten opciones de precios diferenciados por tipo de medida y registros de la demanda, o programación de intervalos de “carga” previamente acordados con cada cliente. Permiten comunicación en red con la oficina de gestión.
- *Smart Meters*, estos equipos proporcionan mediante el centro de gestión la información y el control de los parámetros de calidad y de programación del servicio junto con la actualización del software de medición de forma telemática. Contempla la comunicación ampliada en red con el gestor y *Home Area Network* (HAN) con los equipos locales de consumo.

#### A. Contadores Electromecánicos

La idea base para el medidor electromecánico de inducción son los estudios de Galileo Ferraris que hace un descubrimiento clave, mediante dos campos de alterna desfasados se puede hacer girar un disco sólido metálico. Este descubrimiento estimuló el desarrollo de motores de inducción y así implementar los medidores electromecánicos de inducción [11].

Los distintos tipos de electromotores para los contadores eléctricos se pueden clasificar en [12]:

- Tipo conmutador. *Commutator type*.
- Tipo de inducción. *Induction type*.
- Tipo disco de Faraday. *Faraday disc type*.

El contador eléctrico más común para el monofásico es el de Thomson o contador electromecánico de inducción, patentado por Elihu Thomson en 1889, este modelo considerado como el estándar es la base de los contadores electromecánicos más modernos que han estado instalándose por más de 120 años [13][14][15].

#### B. Contadores Electrónicos

Los primeros dispositivos de medida automáticos son del periodo pre-microprocesador y pre-internet. Se trata de dispositivos con la medida electromecánica basados en los contadores eléctricos existentes y con unas comunicaciones digitales basadas en las incipientes tecnologías digitales de principios de los 60. Algunas patentes referenciadas a continuación permiten determinar la evolución de estos dispositivos:

- Equipo de lectura por detección de la posición angular en los indicadores para obtener un código binario del valor medido [16].
- Equipo totalmente electrónico, mide tensión y corriente a partir del valor medio de las señales rectificadas que con un convertidor tensión-frecuencia y un contador que permiten la visualización del valor medido [17].
- Dispositivo que permite las comunicaciones mediante llamada telefónica a la central, transmite el código del medidor y el valor de la medida [18][19].

Al principio de la década de los 70 la adquisición de datos, procesado y comunicaciones estaban muy limitadas por la capacidad de cálculo de los microcontroladores y las interconexiones de los sistemas digitales, los primeros diseños están basados en ordenadores pero lejos de ser viables económicamente.

El marco tecnológico definido por la microelectrónica y las comunicaciones en el desarrollo de los AMR pueden resumirse en las siguientes fechas:

- 1963 la empresa Sylvania comercializa los primeros circuitos integrados de tecnología TTL.
- 1969 primera red interconectada mediante el primer enlace entre las universidades de UCLA y Stanford.
- 1971 producción del microprocesador 4004.
- Década de los 70, procesadores domésticos.
- 1981 ordenador personal de IBM PC5150.

En 1978 la empresa Metretek, Inc. [20], desarrolló un diseño pre-Internet y produjo el primer AMR totalmente automatizado disponible comercialmente para la telelectura del contador mediante un sistema de gestión que utilizó un mini-ordenador de IBM.

Con estas premisas en la industria electrónica en la década de los 80 se comienzan a producir los primeros contadores híbridos, basados en los contadores de inducción [7]. Los primeros AMR son dispositivos de medida (contadores de energía en el sentido clásico) que incorporan una *Micro-Controller Unit* (MCU), que permite tanto automatizar el sistema como dotarlo de capacidad de comunicación con un sistema central. Se trata de dispositivos de medida que facilitan los valores de consumo eléctrico con una cadencia predefinida y que pueden transmitir la medida mensualmente o definir un periodo menor de facturación.

Los contadores totalmente electrónicos comienzan con los modelos monofásicos para después implementar los polifásicos, en la década de los 90 sin piezas electromecánicas a excepción de las borneras.

Con este tipo de dispositivo se pretende proporcionar fiabilidad a los datos obtenidos, la necesidad es obtener medidas reales en lugar de valores estimados o facilitados por el usuario ya que los equipos de medida se pueden encontrar en lugares privados de difícil acceso. Es importante para el gestor obtener un perfil de consumo fiel a la realidad, para lo que necesita medidas de periodicidad programable. Otra posibilidad del dispositivo es incluir *submetering*.

La operativa consiste en enviar la información hasta el *Data Management* (DM) como parte de una infraestructura de

medida, recopilación y gestión de datos donde es necesario un nuevo contador denominado AMI [21]. Las lecturas se indican a los usuarios en tiempo real para que puedan cambiar su comportamiento de consumo en función de las tarifas o de sus inquietudes ecológicas.

#### IV. EL SMART METER

La siguiente evolución tecnológica es el *Smart Meter* que básicamente es un AMI que incluye como mínimo los siguientes suplementos, control de energía mediante un ICP programable que establece el límite de consumo, un puerto HAN y servicios de tarificación bajo demanda, (Fig. 3).

La estructura general del contador mantiene los tres elementos principales como son el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal que es ahora el sistema de comunicaciones. Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los elementos complementarios siguientes:

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de cálculo.
- Procesador de comunicaciones.
- Dispositivo de accionamiento o control.

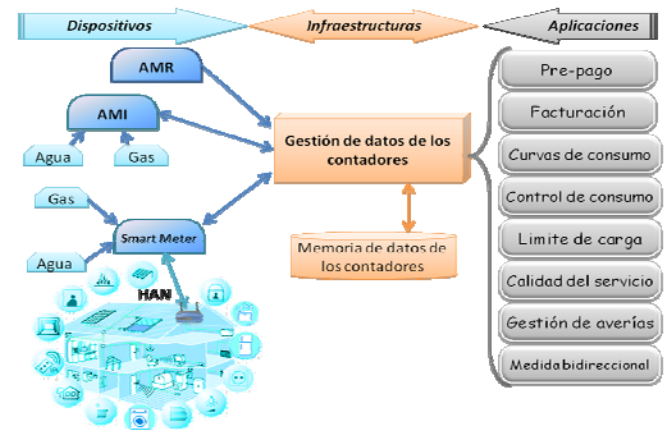


Fig. 3. Estructura general del sistema de telemedida.

##### A. Características genéricas del contador electrónico

El valor de la energía que se desea calcular sigue los siguientes procesos antes de visualizarse en el LCD del contador [22]:

- Proceso de digitalización en la fase correcta los valores instantáneos de tensión y de corriente mediante un convertidor  $\Sigma\Delta$  de alta resolución.
- Cálculo del producto de las variables para obtener los valores instantáneos de potencia.
- Integración de las variables calculadas a lo largo del tiempo que proporcionan los valores de las energías.

La energía activa se determina mediante el algoritmo que implementa la expresión (7):

$$E = \int p(t)dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} p(nT) \cdot T \right\} \quad (7)$$

La estructura general de un contador está representada en la

Fig. 4. La diferencia principal entre los distintos fabricantes es la forma del diseño electrónico en el que se implementa el contador, donde pueden encontrarse las siguientes opciones:

- Dispositivo MCU de gama media o *Digital Signal Processor* (DSP) o dispositivo de lógica programable, las tres opciones con tecnología mixta que incluye *Programmable Gain Amplifier* (PGA) y *Analog to Digital Converter* (ADC), las tres opciones tienen en común un puerto serie para su control por un procesador externo que realiza el resto de operaciones. Es el modelo básico.
- MCU de gama media con capacidades de cálculo como multiplicación por hardware, estructura *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) con periféricos de comunicaciones, memoria de varios tipos y elementos analógicos-mixtos ADC con PGA. Suelen ser dispositivos MCU genéricos adaptados a un diseño de medidas.
- MCU de gama baja que se dedica a la gestión global del sistema y es más cómoda su programación, rodeado de una serie de periféricos similares al caso anterior donde se ha añadido uno basado en DSP o un dispositivo de lógica programable con los elementos de tecnología mixta necesarios. Este sistema de doble núcleo permite que el proceso de cálculo de potencias y energía se desarrolle de un modo más determinista y optimizado por el DSP.

En todos estos diseños hay que añadir unos elementos extra de comunicaciones pues los periféricos que llevan implementados solamente admiten conexiones de tipo local de algunos metros como máximo. El sistema de conexión debe incluir aislamiento galvánico por estar la masa eléctrica del sistema conectada a neutro de la red.

Indicar también que la tendencia es integrar en silicio lo máximo posible del sistema, indicándose esto mediante terminología del tipo *System on Chip* (SoC) y *System in Package* (SiP) para los integrados más complejos.

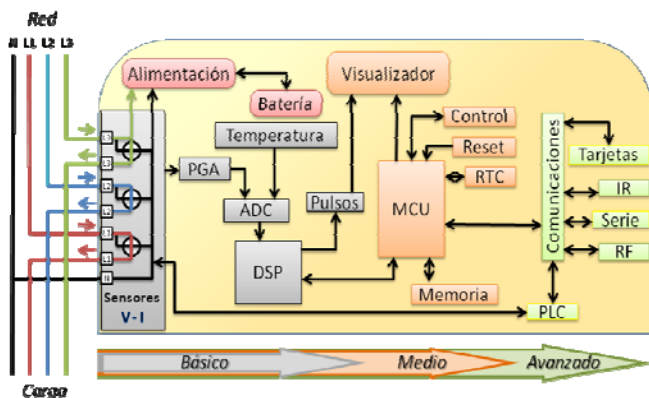


Fig. 4. Estructura genérica de un contador. El dispositivo puede ser de tipo:

- Básico: sensores, calculador y generador de pulsos.
- Medio: al anterior añade una MCU y sus periféricos.
- Avanzado: incluye también varios elementos de comunicaciones.

### B. Etapa de sensado y acondicionado de la señal

La primera parte del proceso de medida es analógica y externa al IC, para detectar la señal de tensión hay que atenuar típicamente con un divisor de tensión o un transformador y

adaptar la amplitud a los valores del PGA, las medidas se realizan entre fases o mejor entre fase y neutro.

La medida de la corriente se realiza mediante una tensión por transformador de corriente, resistencia shunt o bobina Rogowski ( $di/dt$ ). Existen otros sensores de corriente como son fluxgate, Hall o el grupo de las magneto-resistencias (MR), AMR, GMR, CMR. La medida de corriente puede ser de una fase, de dos fases, de tres fases sin neutro o de tres fases con neutro dependiendo del contador a implementar y del número de ADC's que disponga el integrado.

La utilización de transformadores para las medidas de tensión o corriente presenta un problema, el desfase introducido en la señal del secundario respecto a la señal de medida, esto implica un error en el cálculo de la potencia instantánea por parte del DSP, que se ha de minimizar implementando un filtro digital para la corrección de este desfase y que se ajusta mediante la calibración del contador.

### C. Cuantificado y procesado de las señales

La siguiente etapa es adaptar las señales con los PGA y convertirlas con los ADC pasando los valores al DSP para la realización de los cálculos de las potencias. Típicamente los ADC son de alta resolución 16 a 24 bits con un ancho de banda mayor de 14 kHz.

Según indica la expresión (2) la potencia instantánea,  $p(t)$  se obtiene mediante el producto de los valores instantáneos de tensión,  $v(t)$  y de corriente,  $i(t)$ . Al resultado de la operación se aplica un filtro promediador obteniéndose el término constante que corresponde a la potencia activa,  $P$ , ver la expresión (3).

Para la potencia reactiva,  $Q$ , se desplaza el fasor de corriente en  $90^\circ$ , después se realiza el mismo cálculo que con la potencia activa. La potencia aparente,  $S$ , es calculada según la expresión (5).

Para el cálculo de las energías el DSP utiliza un algoritmo que implementa la expresión (7) para el cálculo de la potencia activa. Para la energía reactiva se utiliza  $Q$  como variable de cálculo y  $S$  para la energía aparente.

Otros posibles cálculos que pueden estar implementados son los referentes a la calidad de la señal en la línea como son, los valores de pico en la tensión eficaz, la reducción en la tensión eficaz, las variaciones de frecuencia en la señal o los errores aperiódicos de cruce por cero en la onda de tensión.

### D. Control del sistema y transmisión de datos

En los dispositivos con doble núcleo procesador los valores calculados por el DSP quedan como variables en los registros de datos a disposición del MCU, para su almacenamiento y teletransmisión, paralelamente como opción para el diseñador el generador de pulsos activa las salidas de potencias activa y reactiva, enviando los pulsos a un contador exterior.

Las comunicaciones se implementan mediante enlaces con la HAN y con el DM utilizando los puertos serie que dispone el MCU como periféricos, se trata de una comunicación local *Machine to Machine* (M2M) con otros dispositivos especializados en las redes que se deseen desplegar. Esta

modularidad permite adaptar el diseño a las circunstancias de cada aplicación.

Como elementos complementarios típicos en los dispositivos se pueden indicar los sensores de temperatura internos, el reloj en tiempo real, la gestión de energía del sistema, el supervisor de las memorias de configuración del sistema y del *firmware* o la detección de fugas de corriente, *tamper function*.

## V. TENDENCIAS

El sensado y las comunicaciones del contador permiten la medida distribuida de la energía consumida, esto es, el monitorizado de las señales de interés a lo largo de un ciclo de la red eléctrica que permite el cálculo de potencias y energías involucradas, y de esta forma determinar el flujo de la energía.

El escenario previsible, de acuerdo con la tendencia actual, apunta a una generación y un consumo de energía cada vez más distribuidos que exigen resolver nuevos problemas de eficiencia, seguridad y gestión de la red. En concreto, los requerimientos de los sistemas de monitorización, supervisión y control de la calidad del servicio, en términos de automatización, capacidad y velocidad de medida de un número creciente de parámetros de las señales eléctricas, serán cada vez más exigentes. Asimismo, estos sistemas deben soportar futuras políticas de gestión que evolucionan desde perfiles libres, tanto de consumo como de producción, a unos perfiles más acotados con menores grados de libertad.

En este contexto, la línea de trabajo a seguir implica caracterizar los sistemas actuales de medida y valorar las necesidades de control necesarias, bajo la óptica de *micro-red* a partir de los perfiles de consumo-producción energético que verá la red eléctrica en el punto de conexión, para eventualmente, rediseñar el sistema y su gestión.

## VI. CONCLUSIONES

La estructura *Smart Grid* exige la lectura de datos en tiempo real para aspectos a nivel de sistema como la gestión de recursos y su supervisión, además de aspectos a nivel de usuario como la facturación automática o el control del consumo energético, que son, entre otros, algunos de los nuevos servicios y aplicaciones que requiere la generación distribuida y el consumo sostenible.

Esta forma de lectura de los datos con los nuevos equipos AMI y los nuevos *Smart Meter* se basan en la capacidad de gestionar tanto los contadores como el gran volumen de datos medidos mediante lo que se denomina *Smart Metering*.

En este trabajo se ha indicado la importancia creciente de todos estos conceptos como los elementos que permitirán desplegar la infraestructura tecnológica impuesta por la normativa y, de esta forma, proporcionar los datos necesarios a los sistemas gestores y a los consumidores de energía.

Se han descrito, bajo un concepto de *Smart Grid*, los distintos elementos que intervienen en el proceso, como son la red, la estructura general del sistema de teledistribución y el *Smart Meter*. Se ha detallado la estructura y funcionamiento de los

distintos tipos de medidores, y se han presentado datos de los fabricantes más importantes y referencias de normativas para los sistemas de bajo coste.

El resultado es la descripción de un contador que se encontrará implementado en los millones de puntos de consumo, cuyo objeto es proporcionar la infraestructura de soporte necesaria para que el usuario sea una parte importante de la gestión en la red de distribución.

## ANEXO

### A. Fabricantes de electrónica

Los fabricantes de dispositivos electrónicos para contadores de estado sólido o AMI ofrecen distintos diseños de base para implementarlos.

Existen dos grupos de diseños de base, los basados en circuitos integrados específicos (IC), Tabla 1, y los basados en MCU estándar a los que se les añaden las prestaciones más avanzadas en forma de circuitería externa y firmware.

TABLA I  
ALGUNOS FABRICANTES DE IC ESPECÍFICOS Y SUS APLICACIONES AMI

Fabricante	Referencia	Tipo medidor	Parámetros medidos
Analog Dev.[23]	ADE5169	Fase	Irms. Vrms, P, Q, S
	ADE7878	Polifase	Irms. Vrms, P, Q, S
ATMEL Corp. [24]	AVR465	Fase	P
Austriamicro-sys. [25]	AS8268	Fase	Irms. Vrms, P, Q
Cirrus Logic [26]	CS5463	2 ADC	Irms. Vrms, P, Q, S
	CS5464	3 ADC	Irms. Vrms, P, Q, S
	CS5467	4 ADC	Irms. Vrms, P, Q, S
Maxim [27]	MAXQ3183	Polifase	Irms. Vrms, P, Q, S
Microchip [28]	MCP3905	Fase	P
	MCP3909	Polifase	P
Sames [29]	SA9607M	Fase	P
	SA9904B	Polifase	Irms. Vrms, P, Q
ST [30]	STMP14	Fase	P
Teridian [31]	71M6532F	Fase	Irms. Vrms, P, Q, S
	71M6534	Polifase	Irms. Vrms, P, Q, S

Fase: medida de dos líneas, 2 ADC o 3 ADC.

Polifase: medida trifásica puede ser de 4 ADC (conexión Aaron) o trifásica completa con o sin neutro.

Medida para valor eficaz de corriente, Irms. De tensión Vrms.

Potencia activa, P.

Potencia reactiva, Q.

Potencia aparente, S

### B. Fabricantes de contadores eléctricos

Las empresas para la fabricación de contadores electrónicos son más numerosas, como referencia se indican posiblemente las siete mayores o con más historia, Tabla 2 [32][33].

### C. Normas internacionales

Los Smart Meters han de cumplir con los estándares que les permitan comunicarse con DM y con la red HAN del usuario:

- Comunicaciones con el concentrador y el DM, *Last-Mile Communication*:

- IEEE802.15.4 o ZigBee.
- IEEE 802.11 o Wi-Fi.
- *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

WIMAX.

- *Power Line Communications* (PLC).
  - *General packet radio service* (GPRS), Short Message Service (SMS).
  - Device Language Message specification (DLMS) - COmpanion Specification for Energy Metering (COSEM) [34].
- HAN y *Energy Gateway*:
- IEEE802.15.4 o ZigBee.
  - Bluetooth de baja energía.
  - IEEE 802.11 o Wi-Fi.

Al tiempo que deben desempeñar su función principal del proceso de medida. Dos estándares definen la exactitud en los equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.):

- ANSI C12.20, USA, clases para los contadores eléctricos.
- IEC 62053 europea UNE-EN62053, requisitos particulares.

TABLA 2  
ALGUNOS FABRICANTES DE CONTADORES ELECTRÓNICOS

Fabricante - país-	Equipos y servicios que ofrecen
Circuitor -España-	Diseño y fabricación de equipos para la eficiencia energética eléctrica, protección eléctrica industrial, medida y control de la energía eléctrica.
Echelon -EEUU-	<i>Nerwoked Energy Services</i> (NES), <i>Smart Electric Meters</i> . <i>Smart meters certifier for ANSI and IEC standards</i> . Proveedor de equipos para control de red y software. Desarrollo de soluciones de medición inteligente.
Elster Group -Luxemburgo-	Proveedor mundial de productos avanzados de medición y soluciones inteligentes de medición. <i>Electric, Gas and Water Smart Meters</i> .
GE Energy -EEUU-	<i>Electric AMR and Smart Meters</i> .
Iskraemeco -Eslovenia-	Proveedor mundial de los dispositivos y sistemas de medición de energía eléctrica, registro y facturación. <i>Electric Smart Meters</i> .
Itron, Actaris -EEUU-	Es un proveedor de tecnologías energéticas e industrias del agua. <i>Electric, Gas and Water Smart Meters</i> .
Landis+Gyr -Suiza-	Medición de electricidad, con posicionado en Telegestión (AMM) o " <i>SMART meters</i> " <i>Electric, Gas and Water Smart Meters</i> .
Siemens Energy -Alemania-	Especializado en sistemas eléctricos de automatización y <i>Smarts Meters</i> . <i>Metering Information System</i> (AMIS) <i>solution</i> .
ZIV -España-	Contadores de energía eléctrica y sistemas de contadores, Equipos de medida de calidad de servicio eléctrico.

#### D. Normas para el mercado interior de la electricidad

La normativa aplicable se puede resumir en [3]:

- Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo, 2009/72/EC normas comunes para el mercado interior de la electricidad y 2006/32/EC sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos .
- Ley 17/2007 por la que se modifica la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1110/2007 por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Orden ITC/3022/2007 por la que se regula el control

metrológico del Estado sobre los contadores de energía eléctrica, estáticos combinados, activa y reactiva a instalar en suministros de energía eléctrica hasta una potencia de 15 kW de activa.

- Orden ITC/3860/2007 por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008.

Según el "Plan Contador", los actuales contadores de medida en los suministros de energía eléctrica deberán sustituirse por otros nuevos equipos electrónicos, capaces de permitir la discriminación horaria y la telegestión, en un plazo de once años, entre el 1 de enero de 2008 y el 31 de diciembre de 2018.

#### E. Grupos de desarrollo

- NIST (*National Institute of Standards and Technology*)[35].
- Proyecto europeo OPEN meter. Comisión europea, dentro del programa marco FP7, de I+D, como el proyecto denominado Open Meter (*Open and Public Extended Network METERing*) [36].

#### REFERENCIAS

- [1] Legislación comunitaria UE. "*Síntesis de la legislación de la UE*", [En línea]. Disponible: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/energy\\_efficiency/127057\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127057_es.htm)
- [2] Real Decreto 809/2006. [En línea]. Disponible: <http://noticias.juridicas.com/actual>
- [3] "*Informe 23/2009 de la CNE Solicitado por la Secretaria de Estado de Energía Sobre da Propuesta de Orden por la que se Establece el "Plan Contador"*", Comisión Nacional de Energía, 20 Jul. 2009, [En línea], Disponible: [www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne119\\_09.pdf](http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne119_09.pdf)
- [4] European Smart Metering Alliance. [En línea]. Disponible: [www.esma-home.eu/](http://www.esma-home.eu/)
- [5] Echelon, "*Making Devices Smart and the Grid Smarter*", GSA Expo, October 2009 [En línea]. Disponible: <http://www.gsaglobal.org/resources/presentations/index.asp>
- [6] J. D. McDonald, "*Electric power substations engineering*", 2nd ed. CRC Press, 2007.
- [7] Various authors, 2010, January, 11, "Smart grid", Wikipedia [En línea]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid)
- [8] Various authors, 2008, setember, "Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future", The SmartGrids Technology Platform [En línea]. Disponible: [www.smartgrids.eu/](http://www.smartgrids.eu/)
- [9] J. Grubbs, "*Power System Stability and Control: Metering of Electric Power and Energy*", CRC Press, 2007.
- [10] R. Levy, "*An Overview of Smart Grid Issues*", presented at the Oregon Public Utility Commission. Smart Grid Workshop, 2009, September, 9.
- [11] D. Dahle, 2009, February, 11, "*A brief history of meter companies and meter evolution*" [En línea]. Disponible: <http://wathourmeters.com/history.html>
- [12] Hawkins, "*Electrical guide number seven*", THEO. AUDEL & CO., New York, 1915.
- [13] E. Thomson, "*Electric Meter*", U.S. Pat. 448280, Filed 20 Nov. 1890.
- [14] Various authors, December 2000 "Watt-hour meter maintenance and testing". United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation. [En línea]. Disponible: [www.usbr.gov/power/data/fist/fist3\\_10/vol3-10.pdf](http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_10/vol3-10.pdf)
- [15] HP Davis & F. Conrad, "*Electric meter and motor*", US Pat. 608842 - Filed 18 Jun 1898.
- [16] D. Martell, "*Decoder Circuits For Shaft Encoder Apparatus*", U.S. Patent 3750156, Jul. 7 1973.
- [17] L. Laurence, "*Energy monitoring device*", U.S. Patent 4080568, March 21 1978.
- [18] G. Theodoros, "*Apparatus and method for remote sensor monitoring, metering and control*", U.S. Patent 4241237, Dec. 12 1980.
- [19] G. Theodoros, "*Apparatus and method for remote sensor monitoring, metering and control*", U.S. Patent 4455453, Jun. 6 1984.

- [20] Various authors, 2010, January, 23, “*Automatic meter reading*”, Wikipedia [En línea]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_meter\\_reading](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_meter_reading)
- [21] Federal Energy Regulatory Commission staff report, “*Assessment of Demand Response and Advanced Metering*” (Docket AD06-2-000). U.S. Department of Energy, 2006. Pag. 20.
- [22] A. Hamey, “*Smart Metering Technology Promotes Energy Efficiency for a Greener World*”, Analog Devices [En línea], 2009. Disponible: [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-01/smart\\_metering.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-01/smart_metering.pdf)
- [23] [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [24] [www.atmel.com](http://www.atmel.com)
- [25] [www.austriamicrosystems.com](http://www.austriamicrosystems.com)
- [26] [www.cirrus.com](http://www.cirrus.com)
- [27] [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)
- [28] [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [29] [www.sames.co.za](http://www.sames.co.za)
- [30] [www.st.com](http://www.st.com)
- [31] [www.teridian.com](http://www.teridian.com)
- [32] Refabrica (2009, 10). Who's Who in Smart Grid and Smart Metering. *Journal* [En línea]. Disponible: [www.refabrica.com](http://www.refabrica.com)
- [33] J. Berst. (2009, 11). Meter Maker Shakedown: The 5 That Will Survive. *Journal* [En línea]. Disponible: [www.smartgridnews.com](http://www.smartgridnews.com)
- [34] [www.dlms.com](http://www.dlms.com)
- [35] Pikeresearch, “*Smart Electrical Meters, Advanced Metering Infrastructure, and Meter Communications: Market Analysis and Forecasts*”, 2010, Index Disponible: <http://www.pikeresearch.com/research/smart-meters>
- [36] [www.openmeter.com](http://www.openmeter.com)