

MEDIDA DE CORRIENTE UTILIZANDO SONDAS DE TIPO ROGOWSKI

Introducción y especificaciones del proyecto

Hoy en día la mejora de la eficiencia energética es una necesidad sistémica para la mayoría de actividades económicas. Asunto que incluso desde hace años está recibiendo un fuerte impulso desde instituciones europeas. Para ello, es necesario el conocimiento detallado de los perfiles de consumo energético de las industrias e instalaciones y que permita relacionarlos con su proceso productivo, la gestión de tiempos y materiales, las contrataciones de suministros energéticos, etc. En el caso particular de los consumos eléctricos es necesario realizar un desglose de cargas internas en cada instalación y realizar medidas independientes a lo largo de periodos representativos de cada actividad. De este modo, por ejemplo, se pueden obtener los perfiles de consumo de varias máquinas y calcular sus ratios de consumo energético por pieza. Estos ratios revelan muchas veces cuál de las máquinas es más eficiente y sobre cual son recomendables acciones de mejora. Otras posibilidades que ofrece el conocimiento de los consumos desglosados es el efecto de la simultaneidad. Por ejemplo, dos máquinas distintas que habitualmente trabajan al mismo tiempo y que podrían hacerlo en tiempos distintos reducirían la potencia total demandada; y con ello, hasta sería posible una posible una reducción de la potencia contratada o de las penalizaciones por superación los máximos contratados. En cualquier caso, el conocimiento de los detalles del consumo de una industria o proceso productivo complejo ofrece múltiples posibilidades para la mejora global de la eficiencia.

Evidentemente, para conocer los perfiles desglosados es necesario instalar un sistema de monitorización individualizado, o de submetering. Las grandes empresas y las medianas con grandes facturaciones energéticas hace tiempo que han incorporado en sus distintas instalaciones eléctricas estos sistemas de submetering. Sistemas que además incluyen las mediciones de consumo de otras magnitudes importantes: agua, gas, calor, contadores de piezas, pesos de materia prima, etc. y que permiten una caracterización general completa del proceso productivo y energético. Estos sistemas resultan generalmente demasiado complejos y caros para empresas más pequeñas, donde los consumos son mucho más modestos o con procesos productivos menos complicados. En estos casos, muchas veces es suficiente con un desglose de medidas simple y con la precisión mínima imprescindible.

La empresa solicitante del presente proyecto final de carrera ha lanzado un desarrollo de sistema de submetering de muy bajo coste. Sistema que permitiría abrir la posibilidad de realizar medidas para el ahorro energético en empresas pequeñas y medianas de niveles de facturación y consumo energético más modesto. Tras un análisis del mercado actual existente sobre equipos de medida y submetering se verificó que existía la posibilidad de desarrollar un nuevo sistema con algunas claves de diseño y de operación que permita un buen posicionamiento en el mercado español (y quizá a nivel internacional). Este equipamiento requiere de nuevos enfoques de diseño e instalación, así como de la utilización de sondas de corriente utilizando la

bobina de Rogowski. Estas sondas son mucho más sencillas de instalar, más baratas y ofrecen la precisión adecuada. Existen diversos tamaños y características a nivel comercial pero para la mayoría de mediciones previstas es suficiente un rango de hasta 2000 Amp, con diámetros de 10 a 12 cm.

Se ha realizado una búsqueda de sondas de este tipo a nivel internacional, encontrando varios fabricantes con características adecuadas y precios que oscilarían entre los 20 a 30 € por unidad. Este precio a priori resulta ya muy atractivo y encajaría en la previsión de costes del sistema de submetering que se está desarrollando. Sin embargo, pese a todo supone un porcentaje importante del precio final de cada equipo y que además, al ser un suministro externo, no se tiene ningún control sobre su precio y sus posibles variaciones. Por ello, con el fin de analizar la conveniencia o no de incluir en el desarrollo del sistema de submetering las sondas de medida de corriente, se ha lanzado la propuesta de proyecto final de carrera. Como puede comprenderse de lo anterior, este proyecto tiene por objetivo tratar de desarrollar una sonda de tipo rogowski, que cumpla las características de operación requeridas, tabla 1, y cuyo coste de fabricación sea lo más bajo posible. La cota mínima de viabilidad es resultado esperado del proyecto.

La primera tarea a desarrollar es un análisis teórico de las características eléctricas que serían necesarias para cumplir los requisitos de la citada tabla 1 con la menor cantidad de material posible. Es decir, se debe estudiar si existe un bobinado cuya longitud de conductor sea el menor posible estudiando la sección de cada espira, el número de ellas, etc. Estos estudios deben realizarse en función de la tensión de salida y de este modo justificar el diseño también por este criterio. En particular, sería interesante determinar las características de los diseños eléctricos óptimos para tensiones de salida de 100, 200 y 300 mV.

Posteriormente, se tratará de fabricar un prototipo del diseño seleccionado con los materiales aislantes, conductores y de protección mecánica de acuerdo a las condiciones que se exigen en la tabla 2. Todo ello llevará a la preparación de algunas muestras que primero de todo deberán ser validadas eléctricamente. A partir de estos diseños será necesario acometer una tercera etapa de evaluación de los costes del prototipo y de fabricación en serie. Es decir, habrá que desglosar los costes del material, de la mano de obra que realiza el montaje de la sonda, de los útiles de fabricación necesarios y su amortización, ensayos de rutina y de certificación, etc. El análisis de la viabilidad del proyecto puede incluso requerir de un estudio de rentabilidad (VAN y TIR) de una operación genérica, que entre otras cuestiones ofrezca el número mínimo viable de elementos a fabricar anualmente.

Tabla 1.- Requisitos eléctricos / dimensionales

Requisito	Valor típico / rango
Tensión de salida a 2000 A	100 - 300 mV
Frecuencia central	50 Hz (60 Hz)
Precisión a la frecuencia central	1%
Diámetro interno	8 – 12 cm
Diámetro del conductor de bobina	6 – 8 mm (*)

(*) Este rango es el encontrado actualmente en sistemas comerciales, sin embargo, en el caso de disponer de un modelo matemático detallado cuyo análisis arroje mejores oportunidades fuera del citado rango, se realizará una valoración especial para su posible aprobación.

Tabla 2.- Requisitos estructurales / mecánicos

Requisito	Valor típico / rango
Conector de cierre	No resulta imprescindible un sistema de cierre automático. La instalación de estas sondas es de tipo definitivo y por ello resultan admisibles otros métodos más simples, incluido un sistema por brida plástica, por ejemplo.
Aislamiento eléctrico externo	Superior a los 1000V.
Cobertura externa	Resistente a arañazos por herramienta de corte (tijeras, destornillador). No se prevé resistente a corte directo. Por ejemplo, una pintura o barniz flexible, o una cobertura por termoretractil, etc.
Temperatura	Desde -40 °C hasta 70 °C
Humedad	100 % (incluso agua directa – IP 65)
Flexibilidad	El conjunto debe ser capaz de abrirse hasta ofrecer una distancia igual a su diámetro en estado de cierre. Esto es, abierto debe ofrecer los 8 a 12 cm que tendrá cuando quede cerrado.

Fases previstas del proyecto

Las fases previstas del proyecto podrían ser las mostradas en tabla 3, con las duraciones medias recomendadas para cada una. A priori, el trabajo se entiende para un alumno, aunque sería beneficioso poder realizarlo de forma colaborativa al menos entre dos personas. En caso de realizarse un trabajo colaborativo las tareas previstas podrán repartirse y de esta forma profundizar sensiblemente en los distintos análisis. En cualquier caso, la empresa solicitante de estos trabajos se compromete a ayudar también en la focalización de los estudios, en la preparación de resúmenes y en general en todas aquellas cuestiones que sirvan para una adecuada realización del proyecto. Con un doble objetivo, llegar a disponer de la información mínima necesaria sobre la viabilidad de una posible fabricación de estas sondas, y al mismo tiempo, ofrecer al alumno una experiencia formativa industrial satisfactoria y dentro de los plazos actualmente recomendados para este tipo de trabajos.

Item	Fase	Duración prevista / aconsejable
1	Introducción. <ul style="list-style-type: none">- Conceptos fundamentales sobre Corriente Alterna.- Medida de la potencia eléctrica.- Precisión en la medida. Directiva MID y otras normativas.- Sensores de corriente: análisis comparativo de las tecnologías disponibles.	2/3 semanas
2	Bobinas Rogowski: principio de funcionamiento y caracterización matemática. Modelo de análisis.	1/2 semanas
3	Prospección tecno-económica de la oferta actual de sensores rogowski. <ul style="list-style-type: none">- Revisión de la oferta comercial.- Características comunes y diferenciales.- Materiales de construcción utilizados.- Normativas y precisión	1 semana (en esta etapa la empresa ofertante puede ayudar con la selección de fabricantes debido a que ya se ha hecho un buen trabajo en este sentido).
4	Diseño de un prototipo <ul style="list-style-type: none">- Definición de requisitos- Modelado y construcción- Validación	3/4 semanas
5	Análisis económico. Previsión de costes de fabricación de materiales y de personal. Estimación de útiles necesarios y su repercusión en coste (análisis de opciones).	2/3 semanas
6	Informe final. Resumen simplificado de los asuntos más relevantes obtenidos durante el trabajo. <ul style="list-style-type: none">- Introducción y objetivos.- Bobinas Rogowski.<ul style="list-style-type: none">a. Modelos matemáticos.b. Materiales.c. Prototiposd. Pruebas realizadas y validación- Estudios económicos- Resumen final y conclusiones.	1 semana

Perfiles de grado recomendados

Este proyecto final de carrera se propone como trabajo individual, aunque como ya se ha dicho, se entiende beneficioso que pueda llegar a realizarse en colaboración. El perfil preferente de los alumnos candidatos puede ser, a priori, cualquiera de los siguientes:

- 1 alumno grado en ingeniería eléctrica
- 1 alumno grado en ingeniería automática / electrónica

Tutor:

Vicente Senosiain (vajra@unavarra.es).

Oscar Alonso (oscar@sigcoop.com)