

Nº REFERENCIA: ENE2007-68032-C04-04



**MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

**PROYECTOS I+D, ACCIONES ESTRATÉGICAS Y ERANETS**

**INFORME DE SEGUIMIENTO ANUAL**

<b>Investigador Principal: Mario Mañana Canteli</b>
<b>Titulo del Proyecto: CALIDAD DE LA ONDA DE TENSIÓN. MEDIDA Y ANÁLISIS DE LAS PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS. FILTROS Y OTRAS MEDIDAS CORRECTORAS.</b>
<b>Organismo: Universidad de Cantabria</b>
<b>Centro: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación</b>
<b>Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética</b>
<b>Fecha de inicio del proyecto: 1/10/2007</b>
<b>Fecha de finalización del proyecto: 30/9/2010</b>

Fecha: 10/2/2010

**SR. SUBDIRECTOR GENERAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**  
**C/ Ramírez de Arellano,29, 28071 MADRID**

## A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

1. Describa brevemente las actividades realizadas en el pasado año de desarrollo del proyecto. Indique si existe algún resultado a que haya dado lugar el proyecto durante ese periodo.

Se resumen, a continuación, las tareas realizadas en el año 2009:

Recopilación bibliográfica (0C). Aunque se había realizado una revisión previa del estado del arte durante la definición del proyecto, se ha continuado actualizando la bibliografía disponible y se ha profundizado en su estudio pormenorizado. Las fuentes documentales utilizadas han sido las disponibles por el equipo investigador: WoK e IEEE Xplore. Esta última, junto con las revistas electrónicas disponibles en la biblioteca de la UC, y otras referencias documentales constituyen la fuente de información utilizada para realizar la mencionada revisión del estado del arte.

Campañas de medida (1C). Se han clasificado y almacenado los registros proporcionados por el equipo de medida de calidad de suministro eléctrico UNE-EN 61000-4-30 clase A en el centro de transformación (lado de BT) de la ETSIIT. Dichos datos pueden ser accedidos mediante un cliente web y se están utilizando tanto para tareas de investigación como adicionalmente de docencia por parte de los alumnos de último curso de Ingeniería Industrial, en la asignatura "Análisis y Control de Sistemas de Potencia No-Lineales".

Se dispone de los resultados obtenidos de los tres equipos instalados en el primer parque eólico en funcionamiento dentro de la Comunidad Autónoma de Cantabria, que han proporcionado más de seis meses de medidas.

De forma general, las campañas de medida realizadas con el objetivo de cumplir los objetivos específicos de las tareas 4.1.2C y 4.2.1C se están utilizando también para caracterizar la calidad de suministro de la red de AT y BT de varios puntos de la Comunidad Autónoma de Cantabria. En concreto, durante el año 2009 se han realizado campañas de medida utilizando equipos UNE-EN 61000-4-30 clases A y B en una gran industria de fabricación de automóviles ubicada en Valladolid, así como en una industria láctea ubicada en Cantabria y en una gran industria dedicada a la fabricación de componentes auxiliares para la industria del automóvil, también en Cantabria.

Como ejemplo, la figura 1 muestra el resumen de los huecos de tensión registrados durante el año 2009 en la subestación de alimentación de dicha factoría, clasificados por profundidad y duración.

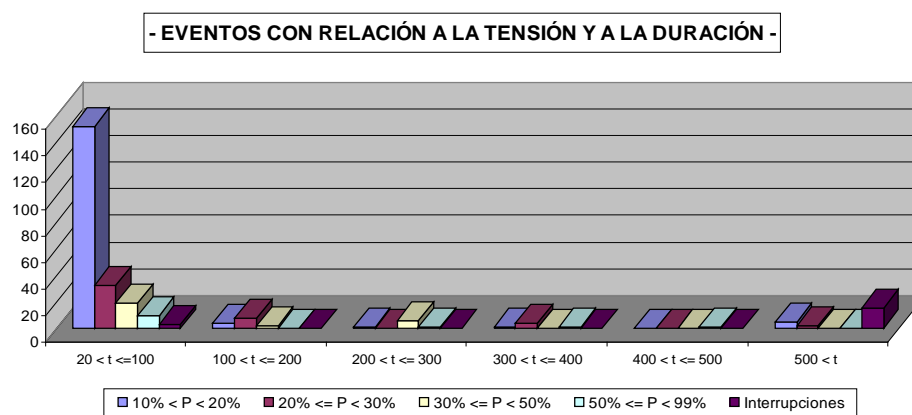


Fig. 1. Resumen de huecos de tensión registrado en la factoría de Valladolid durante el año 2009 clasificados por profundidad y duración.

Este tipo de resultados están disponibles para varias ubicaciones, entornos industriales y niveles de tensión. Su valor reside en el amplio periodo de los registros.

El IP del proyecto pertenece al "balloting group" de la Standard Association del IEEE que ha trabajado en la definición de la norma IEEE 1159 dedicada a la medida de la calidad del suministro eléctrico. Dicho documento, junto con la norma UNE-EN 61000-4-30 proporcionan las referencias básicas para la planificación de las campañas de medida.

En lo que respecta al desarrollo de técnicas y metodologías de medida (tarea 1.1C), se han redactado varios documentos que normalizan el procedimiento de organización y puesta en marcha de una campaña de medidas.

En lo relativo a la relación causa-efecto (tarea 2C), además del conocimiento adquirido del estudio de la literatura técnica obtenida en la tarea general 0, se ha analizado la correlación existente entre incidencias en la red de distribución y en cargas sensibles con las perturbaciones capturadas por los equipos de medida. En términos generales, puede establecerse una relación directa entre la presencia de huecos de tensión e interrupciones breves y ciertos tipos de paradas de cargas sensibles, especialmente aquellas que incorporan autómatas programables y variadores de frecuencia.

En relación a los efectos de huecos y armónicos (tareas 3C, 3.1C y 3.2C), se han continuado estudiando los efectos de un elevado nivel de distorsión armónica sobre el transformador de potencia que alimenta una instalación eléctrica compuesta fundamentalmente por accionamientos eléctricos. Los efectos detectados son:

- Deterioro progresivo de los módulos que actúan como baterías de compensación de energía reactiva. Al mismo tiempo que se produce dicho deterioro, se comprueba que es necesario desconectar el resto de los módulos de la batería, debido a que su conexión produce una elevada demanda de intensidad. Afortunadamente la compensación de energía reactiva puede ser soslayada mediante el control de la excitación de los generadores síncronos utilizados para la cogeneración.
- Los elevados niveles de distorsión armónica de la intensidad producen una sobrecarga térmica en los transformadores que terminan por disparar las protecciones térmicas de los mismos, especialmente en las épocas más calurosas. De forma adicional, el elevado nivel de distorsión de la intensidad aumenta la distorsión de la tensión en el secundario de los transformadores, produciendo problemas sobre las cargas sensibles conectadas en dicho punto.

Como medidas correctivas se han sugerido:

1. Proceder a la desclasificación de la potencia nominal de los transformadores de potencia según la metodología descrita en la norma UNE 21428-4.
2. Instalar filtros activos para la reducción de la distorsión armónica de la intensidad. La instalación de filtros pasivos está desaconsejada en este caso debido a la constante reconfiguración del layout productivo, que produce modificaciones de la impedancia de la carga, lo que obligaría a modificar la configuración del filtro, así como la topología de las baterías de condensadores para la compensación de energía reactiva.

En este sentido, se ha iniciado una tesis doctoral dedicada al estudio del comportamiento de los transformadores de potencia sometidos a corrientes de alta frecuencia. Se ha realizado ya el estudio del arte y se está trabajando en la modelización y definición de los procedimientos de ensayo.

Medida simultánea de armónicos (tarea 4.1.1C). Esta tarea se encuentra finalizada y ya se dispone de resultados. Se ha corroborado la literatura científica que establece el comportamiento de los transformadores de distribución en redes radiales.

Elaboración de modelos de transmisión de armónicos (tarea 4.1.2C). Esta tarea se ha planteado a partir de los resultados de la tarea 4.1.2C. En paralelo con la obtención de datos experimentales, se ha mejorado la aplicación de análisis multivariable desarrollada en 2008 que permite utilizar el software ATP-EMTP para realizar estudios de sensibilidad. Esta aplicación ha sido desarrollada en lenguaje JAVA y se encuentra a disposición de toda la

comunidad de usuarios de ATP-EMTP. Se ha validado dicha herramienta mediante el software PSCAD-EMTDC, que contiene un módulo orientado hacia el análisis multivariable.

Medida simultánea de huecos (tarea 4.2.1C). Esta tarea se ha finalizado y, al igual que en el caso de la tarea 4.1.2C, ya se dispone de resultados preliminares. De forma general, los resultados obtenidos validan la literatura científica sobre el comportamiento de los huecos de tensión al propagarse por los transformadores de distribución en las redes radiales.

Elaboración de modelos de transmisión de huecos (tarea 4.2.2C). Se han obtenido modelos de propagación para los tipos de huecos más habituales. Dichos modelos se han contrastado con las medidas disponibles.

En lo relativo a integración de resultados (tarea 6C), las campañas de medidas se han organizado, documentado y están disponibles para el resto de grupos participantes en el proyecto coordinado.

En lo relativo a la difusión de resultados y conocimientos (tarea 9C) en el ámbito de la calidad de suministro eléctrico, este grupo de investigación colabora activamente en el congreso internacional sobre energías renovables y calidad de suministro denominado International Conference on Renewable Energy and Power Quality que se celebra actualmente, revisando ponencias como parte del comité técnico.

Otra actividad de difusión importante se desarrolló durante la semana del 13 al 17 de julio de 2009, en la que dos investigadores del grupo se desplazaron a Gijón para participar en el curso de verano "Calidad del suministro eléctrico" (Cód. 2008-99-CV-533-1). Dicho curso, orientado hacia los alumnos de últimos cursos de los estudios de Ingeniería Industrial e Ingeniería Técnica Industrial, tuvo por objetivo dar a conocer a los alumnos las distintas perturbaciones que pueden afectar a la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, se presentan diferentes procedimientos de medida de las variables representativas de dicha calidad. Por último, se analizan las diferentes soluciones existentes en el mercado para preservar las instalaciones industriales de las posibles perturbaciones eléctricas a las que se ven expuestas. De entre las perturbaciones posibles que puede experimentar la onda eléctrica, el curso se centra fundamentalmente en los huecos de tensión, los armónicos, los transitorios y el flicker. El curso cuenta con la colaboración de todos los grupos participantes en el proyecto coordinado.

En lo que respecta a publicaciones aceptadas para publicación en revistas y/o congresos, se han generado las siguientes:

Perez Remesal, Severiano Fidencio; Renedo Estebanez, Carlos Javier; Ortiz Fernandez, Alfredo; Mañana Canteli, Mario; Delgado San Roman, Fernando; *Eucalyptus Globulus Waste As Fuel In A Power Plant*. International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'09). Valencia. Abril 2009.

Delgado San Roman, Fernando; Ortiz Fernandez, Alfredo; Renedo Estebanez, Carlos Javier; Perez Remesal, Severiano Fidencio; Mañana Canteli, Mario; *Supply security and the reliability of the spanish generator system in the next two decades based on the costs fossil fuels and nuclear option*. International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'09). Valencia. Abril 2009.

Delgado San Roman, Fernando; Ortiz Fernandez, Alfredo; Renedo Estebanez, Carlos Javier; Perez Remesal, Severiano Fidencio; Mañana Canteli, Mario; *The influence of costs of fossil fuels and nuclear option on the future spanish generation system*. International Conference on the European Energy Market. Bélgica. Mayo 2009.

Mañana Canteli, Mario; Ortiz Fernandez, Alfredo; Renedo Estebanez, Carlos Javier; Perez Remesal, Severiano Fidencio; Delgado San Roman, Fernando; Cavia Soto, Maria Angeles. *Low-cost advanced metering infrastructure for residential applications*. 11th Spanish Portuguese Conference On Electrical Engineering. Zaragoza. Julio 2009

2. Si ha encontrado problemas en el desarrollo del proyecto, coméntelos, especificando su naturaleza (de carácter científico, de gestión, etc).

No se han encontrado problemas significativos relativos a la ejecución del proyecto. La incidencias más relevantes siguen estando relacionadas con el acceso a los equipos de medida colocados en instalaciones propiedad de terceros. Las limitaciones de acceso han motivado, en algunos casos, pequeños periodos (hasta un máximo de 2 semanas) en los que no se han registrado medidas debido a los retrasos para el acceso a los equipos que tenían sus memorias de almacenamiento completas. Este tipo de incidencias son difíciles de resolver dado que la cantidad de datos almacenados depende del número de incidencias registradas, lo que imposibilita conocer el momento en el que los sistemas de almacenamiento alcanzarán su capacidad nominal. Tampoco resulta operativo desplazarse constantemente a las instalaciones donde están instalados los equipos y el acceso remoto a los mismos resulta inviable desde el punto de vista del coste económico.

## **B. PERSONAL ACTIVO EN EL PROYECTO DURANTE EL PERÍODO QUE SE JUSTIFICA.**

En el cuadro siguiente debe recogerse la situación de todo el personal del o de los Organismos participantes que haya prestado servicio en el proyecto en la anualidad que se justifica, o que no haya sido declarado anteriormente, y cuyos costes (salariales, dietas, desplazamientos, etc.), se imputen al mismo.

Si la persona estaba incluida en la solicitud original, marque “S” en la casilla correspondiente y no rellene el resto de casillas a la derecha.

Indique en la casilla “Categoría Profesional” el puesto de trabajo ocupado, el tipo de contratación: indefinida, temporal, becarios (con indicación del tipo de beca: FPI, FPU, etc.), etc.

En el campo “Función en el proyecto” indique el tipo de función/actividad realizada en el proyecto, (p.ej., investigador, técnico de apoyo,...).

### **Recuerde que:**

- En este capítulo sólo debe incluir al personal vinculado a los Organismos participantes en el proyecto. Los gastos de personal externo (colaboradores científicos, autónomos...) que haya realizado tareas para el proyecto debe ser incluido en el capítulo de “Varios”.

- Las “Altas” y “Bajas” deben tramitarse de acuerdo con las “Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D” expuestas en la página web del MEC.

Apellido 1	Apellido 2	Nombre	NIF/NIE	Catgª Profesional	Incluido en solicitud original	Si no incluido en solicitud original:		
						Función en el proyecto	Fecha de Alta	Observaciones
Mañana	Canteli	Mario	52615922H	PTU, indefinido	S			
Ortiz	Fernández	Alfredo	13789517M	PCD, indefinido	S			
Sánchez	Barrios	Paulino	13696612C	CEU, indefinido	S			
Cavia	Soto	María de los Ángeles	13700676J	PTU, indefinido	S			
Pérez	Remesal	Severiano Fidencio	13779102D	PAD, temporal	S			
Delgado	San Román	Fernando	13773549E	PA, temporal	S			

### **C. PROYECTOS COORDINADOS** (*Cumplimentar sólo por el coordinador si se trata de un proyecto coordinado*)

Describe el desarrollo de la coordinación entre subproyectos en este año, y los resultados de dicha coordinación con relación a los objetivos globales del proyecto.

### **D. RELACIONES O COLABORACIONES CON DIVERSOS SECTORES**

1. En caso de que estuviera prevista la participación o respaldo activo por parte de alguna Empresa o Agente socio-económico con interés en el proyecto, indique cómo se está realizando dicha participación.

Una importante empresa relacionada con la fabricación de automóviles ubicada en Valladolid ha firmado un acuerdo con el grupo de investigación para el desarrollo de una planta piloto para el ensayo frente a perturbaciones eléctricas de componentes críticos de su cadena productiva. Dicho proyecto pretende generar un banco de prueba y una metodología que permita caracterizar la inmunidad de ciertos equipos de control a la presencia de huecos de profundidad y duración variable en la tensión de alimentación.

Asimismo, una empresa relacionada con el mantenimiento de una industria láctea ha firmado un acuerdo con el grupo de investigación para el análisis de la problemática relacionada con la calidad de suministro que afecta a su proceso productivo.

Dichos acuerdos suponen una aportación económica que estará dedicada, fundamentalmente, a la adquisición de nuevo equipamiento y a la contratación de becarios que se formarán y trabajarán en estas actividades.

2. Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones o transferencias con entidades no académicas, descríbalas brevemente.

De igual forma que durante el año 2008, como resultado de la disponibilidad de instrumentación especializada UNE-EN 61000-4-30 clase A, y conocimiento de la normativa de medida vigente, se han continuado estableciendo colaboraciones con varias empresas para la realización de campañas de medida con dos objetivos principales:

- i.) Disponer de una mayor cantidad de medidas reales.
- ii.) Proporcionar a las empresas colaboradoras un informe normalizado y pormenorizado sobre su situación real en relación con los parámetros de calidad de suministro de su tensión de alimentación.

3. Si el proyecto ha dado lugar a colaboraciones con otros grupos de investigación, coméntelas brevemente.

Se ha mantenido la colaboración con el Grupo de Electrónica de Potencia de la UC en el estudio del comportamiento de ciertas arquitecturas de balastos electrónicos frente a perturbaciones en la red de alimentación. En relación con dichos trabajos, se ha enviado un artículo titulado "Effects of Flicker on Different Types of 150-W High-Pressure Sodium Lamps and Ballasts" a la revista IEEE Industrial Applications Magazine, indexada y con índice de impacto. A fecha de enero de 2010 se ha recibido la comunicación de que la publicación está aceptada con modificaciones, que ya se han revisado.

Se ha establecido una colaboración con el Grupo de Energías Renovables y Calidad de Suministro de la Universidad de Exeter en el Reino Unido, liderado por el profesor Ahmed Zobaa. Fruto de esta relación, el profesor Fernando Delgado, participante en este proyecto, ha realizado una estancia de 3 meses durante el año 2009 para trabajar en aspectos de internalización de costes derivados de la calidad de suministro. Dicha temática es parte de su trabajo de tesis doctoral. Asimismo, durante el verano de 2009, el profesor Alfredo Ortiz ha viajado a dicha universidad para una estancia corta de dos semanas.

También como resultado de dicha colaboración, se está pendiente de la publicación de un libro de carácter internacional en la editorial World Scientific Publishing Company PTE LTD titulado

“Handbook of Renewable Energy Technology” en el que, además de otras contribuciones en el campo específico de las energías renovables, se ha desarrollado un capítulo titulado “Power Quality Instrumentation and Measurement in a Distributed and Renewable Environment” en el que varios componentes del Grupo de Investigación detallan las peculiaridades de los sistemas renovables en relación con la calidad de la energía.

4. Si ha iniciado la participación en proyectos del Programa Marco de I+D de la UE y/o en otros programas internacionales en temáticas relacionadas con la de este proyecto, indique programa, tipo de participación y beneficios para el proyecto.

A partir de la relación con el grupo del profesor Zobaa en la Universidad de Exeter, se ha colaborado en la solicitud de dos ayudas de carácter internacional:

- Solicitud de ayuda a la Royal Society para el establecimiento de una red de conocimiento entre los grupos de las universidades de Exeter y Cantabria orientado a la calidad de suministro y el mercado eléctrico. (Pendiente de resolución)
- Solicitud de ayuda para un proyecto sobre integración de energía solar fotovoltaica en la red eléctrica a desarrollar en Qatar. Dicho proyecto está promovido por un consorcio en el que participan, además del grupo solicitante, universidades del Reino Unido, Qatar e India. (Pendiente de resolución)

## E. GASTOS REALIZADOS

**Nota:** Debe cumplimentarse este apartado independientemente de la justificación económica enviada por el organismo.

1. Indique el total de gasto realizado en el proyecto hasta este momento:

	Total gasto de la anualidad (€)
Personal	15.194,99
Otros costes de ejecución	30.940,11 (sin incluir costes indirectos) 49.630,11 (incluyendo costes indirectos)
<b>TOTAL GASTO REALIZADO</b>	<b>64.825,10</b>

2. Comente brevemente si ha habido algún tipo de incidencia en este apartado.

No se ha detectado ninguna incidencia.



## **F. GASTOS DE EJECUCIÓN: MODIFICACIONES DE CONCEPTOS DE GASTO CON RESPECTO A LA SOLICITUD ORIGINAL.**

Recuerde que los trasvases entre gastos de personal y gastos de ejecución deben tramitarse de acuerdo con las “Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D” expuestas en la página web del MEC.

### **a) Equipamiento:**

En el cuadro adjunto, rellene una línea por **cada equipo adquirido no previsto en la solicitud inicial** que dio lugar a la concesión de la ayuda para el proyecto y justifique brevemente su adquisición. Si se ha adquirido un equipo en sustitución de otro que figuraba en la solicitud de ayuda inicial (por mejorar sus prestaciones, por obsolescencia del anterior...), indicarlo también en la casilla correspondiente.

<b>Identificación del equipo</b>	<b>Importe</b>	<b>Justificación adquisición</b>	<b>Sustituye a ...(en su caso).</b>
Vatímetro digital Yokogawa WT1600	17.800	En el presupuesto de costes de ejecución (apartado 3.9.2) figura una partida para la adquisición de equipos de medida conformes a UNE-EN 61000-4-30. Dado el abaratamiento de dichos equipos en el mercado, se ha podido adquirir un equipo para la medida de potencia multicanal (hasta 6 canales) en sistemas distorsionados. Dicho equipo permite la medida directa de potencia y del rendimiento de equipos de conversión energética como variadores, fuentes de alimentación, inversores fotovoltaicos, etc. La compra se justifica debido a la incapacidad de los equipos adquiridos para realizar este tipo de medidas.	

### **b) Viajes/Dietas:**

En el cuadro adjunto se justificará la imputación de gasto en viajes y dietas sólo en el caso de que este **tipo de gasto no estuviera previsto en la solicitud inicial**.

--



**c) Material fungible:**

Se describirá y razonará en el siguiente cuadro la adquisición del material fungible incluido en la justificación, sólo cuando **este tipo de gasto no estuviera previsto en la solicitud original**.

--

**d) Varios:**

Se describirán en el siguiente cuadro los gastos varios más relevantes incluidos en la justificación y **no previstos en la solicitud original**, justificando brevemente su inclusión. En este apartado se incluirá, entre otros, al personal externo y, en el caso de que el gasto justificado se refiera a colaboraciones científicas, se identificará al colaborador.

--