

Nº REFERENCIA: ENE2007-68032-C04-03/CON



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE PROGRAMAS Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

PROYECTOS I+D, ACCIONES ESTRATÉGICAS Y ERANETS

INFORME DE SEGUIMIENTO ANUAL

Investigador Principal: José Manuel Cano Rodríguez
Título del Proyecto: Calidad de la Onda de Tensión. Medida y análisis de las perturbaciones electromagnéticas. Filtros y otras medidas correctoras.
Organismo: Universidad de Oviedo
Centro: Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón
Departamento: Ingeniería Eléctrica, Electrónica, de Computadores y Sistemas
Fecha de inicio del proyecto: 1 de octubre de 2007
Fecha de finalización del proyecto: 30 de septiembre de 2010

Fecha: 16 de marzo de 2009

SR. SUBDIRECTOR GENERAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
C/ Albacete 5, 28071 MADRID

A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCCIÓN 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.
-

En lo que sigue se expondrá un resumen de las actividades llevadas a cabo en el proyecto, destacando los logros más significativos. Se seguirá para ello el mismo orden planteado en la petición inicial, abandonándolo exclusivamente para añadir resultados alcanzados no previstos en la misma. De acuerdo a la programación prevista en el cronograma de este Proyecto Coordinado, el Grupo de Investigación de la Universidad de Oviedo (Grupo B) debe haber intervenido hasta la fecha que atañe a este informe (15 meses desde el comienzo del proyecto) en tres actividades: en concreto las actividades generales 0 (tarea 0B) y 1 (tarea 1B), que tienen que ver con la búsqueda, estructuración y difusión de información y realización de medidas de perturbaciones; y en especial la actividad general 5 (que comprende 11 tareas en este periodo) sobre medidas mitigadoras y de insensibilización, y que constituye, como es lógico por el volumen de trabajo que comprende, la principal actividad del Grupo en este Proyecto, y en la que por tanto este informe hará un mayor hincapié.

Actividad General 0: Recopilación bibliográfica

Tarea 0B: Búsqueda, estructuración y difusión de la información.

Esta tarea se desarrolla durante casi toda la vida del Proyecto. Evidentemente, el carácter innovador que presentan aún hoy en día buena parte de los aspectos ligados a la calidad de onda, obligan a los miembros del equipo investigador a estar siempre al día tanto de la emergente normativa al respecto generada en nuestro entorno, como de las numerosas publicaciones aparecidas en revistas internacionales, ligadas estas últimas esencialmente al desarrollo de soluciones innovadoras para la mitigación de los efectos ocasionados por las perturbaciones.

Así mismo, se ha estado también permanentemente al día en cuanto a los trabajos presentados sobre los aspectos ligados específicamente al subproyecto de la Universidad de Oviedo, en los distintos foros tanto nacionales como internacionales. Bien mediante la presencia física de los investigadores del grupo, o bien mediante el acceso a actas de congresos o memorias de investigación.

Actividad General 1: Medida de perturbaciones

Tarea 1B: Medida de las perturbaciones a estudiar.

Esta actividad que es transversal a todos los grupos de investigación implicados en este proyecto coordinado continúa en la actualidad, y tiene como finalidad prolongar la campaña de medida de Calidad de Onda en instalaciones eléctricas, que comenzó al amparo de un anterior Proyecto enmarcado dentro del Plan Nacional de Investigación (DPI2002-04416-C04-03). En ella cada grupo realiza medidas en instalaciones ubicadas en su ámbito de acción regional.

Durante el año 2008, el Grupo de la Universidad de Oviedo ha realizado medidas en distintos emplazamientos, tanto industriales como del sector terciario. Estas medidas suelen tener una duración semanal, si bien en ocasiones esto debe modificarse por las características particulares de cada emplazamiento. En la figura 1 puede observarse un registro semanal de las medidas realizadas en un edificio del sector terciario emplazado en la ciudad de Oviedo.

Se ha prestado una especial atención en esta campaña a la búsqueda de un emplazamiento idóneo para la ubicación de las soluciones mitigadoras de perturbaciones

objeto de este proyecto y que se describirán en las tareas relativas a la actividad 5. En esta actividad se plantea el desarrollo de sendos prototipos de filtros que deben ser ubicados en instalaciones reales de cara a realizar estudios sobre su funcionamiento.

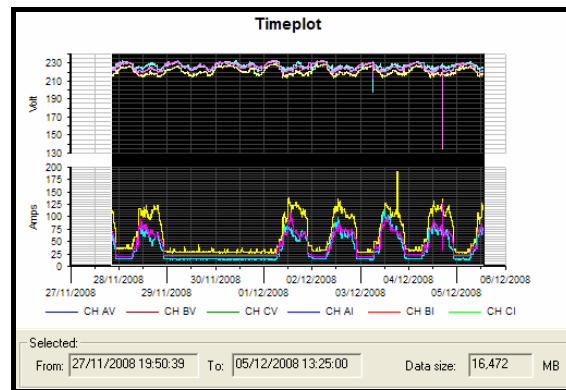


Fig. 1. Registros semanales de calidad de onda en un emplazamiento del sector terciario

Las medidas de Calidad de Onda se han realizado mediante la utilización de un registrador RPM, así como un registrador Dranetz PX5, adquiridos con financiación anterior al presente proyecto por parte de Grupo de Investigación. En la figura 2 puede observarse el registro temporal de la aparición de un hueco durante las medidas efectuadas.

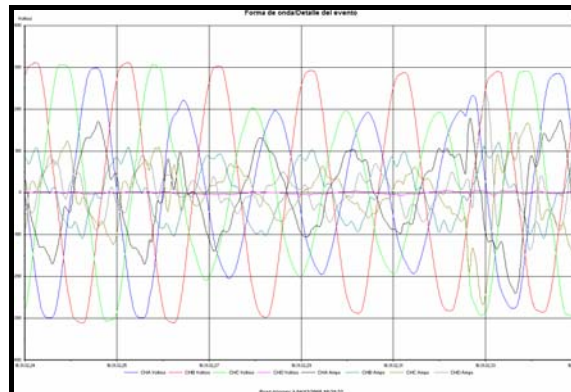


Fig. 2. Registros temporal de un hueco de tensión

Actividad General 5: Medidas mitigadoras y de insensibilización

Dentro de esta Actividad, la Universidad de Oviedo (equipo B) tiene asignadas una serie de tareas relativas al desarrollo de sistemas de filtrado pasivo de armónicos. Más en concreto, al desarrollo de los Filtros de Banda Ancha (FBA) y los Filtros de Tercer Armónico (FTA). A continuación se detalla el estado de las distintas tareas asignadas al grupo en esta actividad.

Tarea 5B – 1a: Construcción de un modelo de filtro de banda ancha.

Esta tarea se encuentra concluida. En ella los investigadores del equipo han desarrollado un modelo de este tipo de filtros mediante la utilización del software Simulink de MatLab®. En la figura 3 se puede observar una representación esquemática de la parte circuital (se ha obviado toda la parte de medida para facilitar la interpretación de la representación).

Este modelo permite verificar la bondad en la elección de los distintos parámetros que configuran el filtro, así como ajustar de forma sencilla el nivel de potencia requerido por la carga no lineal que se pretende alimentar. De la misma forma, el modelado de la acometida del cliente es también muy sencillo, si bien en este tipo de filtros (dentro de los niveles de potencia objeto de este Proyecto) este parámetro ejerce una pequeña influencia sobre su comportamiento.

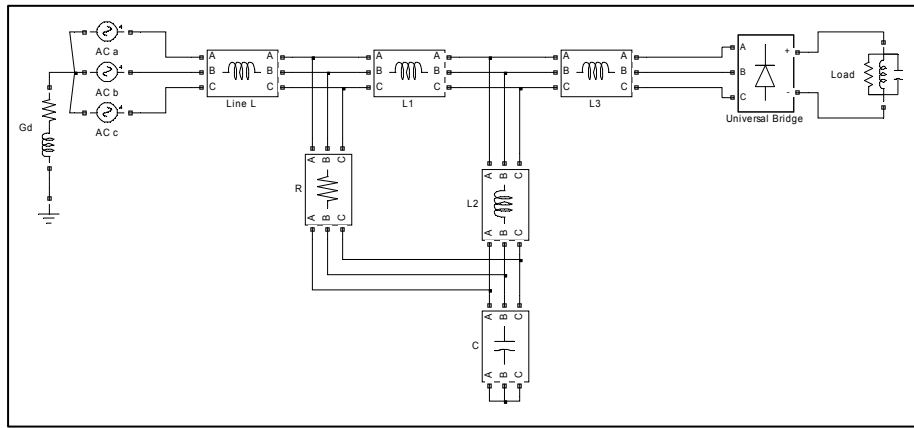


Fig. 3. Captura del modelo de FBA desarrollado en el entorno Simulink

El alcanzar en esta fase un modelado consistente del dispositivo ha facilitado de forma importante el resto de las actividades. Se ha para ello aligerado en lo posible de los efectos menos importantes, y llegado a un compromiso entre exactitud en los cálculos y velocidad de las simulaciones, de cara a optimizar las posteriores baterías de pruebas.

Tarea 5B – 2a: Estudios teóricos sobre el diseño y funcionamiento del FBA.

Esta tarea se encuentra en la actualidad concluida. Mediante la utilización del modelo desarrollado en la tarea precedente, se ha procedido a determinar numerosos condicionantes de diseño de estos sistemas. En las siguientes líneas se muestra un breve resumen.

Se ha procedido a analizar el efecto de la desintonización sobre la efectividad del filtrado. Debe tenerse en cuenta que la degradación de los condensadores, tiende a desviar la frecuencia de resonancia del punto de diseño. Se ha constatado sin embargo que la sensibilidad de este tipo de filtros a este fenómeno es poco importante, al contrario de lo que sucede con los filtros paralelo. Es suficiente con fijar la frecuencia de resonancia ligeramente por debajo de los 250Hz, para que las tolerancias de funcionamiento estándar de los dispositivos permitan niveles de filtrado aceptables en prácticamente todas las situaciones.

Se ha estudiado igualmente el funcionamiento a cargas intermedias. Debe tenerse presente que un diseño centrado exclusivamente en los valores de potencia nominales, puede conducir a un comportamiento poco adecuado a niveles de carga intermedios que pueden resultar habituales en la instalación. En este sentido resulta importante no sólo el nivel de filtrado armónico conseguido sino también el factor de potencia resultante del conjunto filtro-carga. Debe tenerse presente que si se pretende alcanzar un diseño con f.d.p. unidad a plena carga, esto se ha de hacer a costa de f.d.p. capacitivos en todo el rango de potencias intermedias. Dependiendo del tipo de instalación esto puede resultar o no aceptable, y por tanto debe de tenerse en cuenta como parámetro de diseño.

En funcionamiento a cargas intermedias, el nivel de distorsión en corriente introducido en la red desciende siempre. Debe tenerse en cuenta sin embargo, que el valor de la THD en corriente puede aumentar para ciertas cargas, dado que este parámetro viene referido al fundamental de la corriente en cada nivel de carga. Este parámetro no es por tanto significativo a cargas intermedias, lo que interesa en estas situaciones es evaluar el contenido en distorsión total en corriente con respecto al de plena carga. Se ha de introducir así el parámetro THD relativa, que relacionará el valor de la distorsión en corriente respecto al fundamental de la misma a plena carga. *(Este parámetro se corresponde con la que la IEEE 519 denomina TDD).*

Es decir, mientras que la THD en corriente viene dada según la siguiente formula, donde I_1 representa la componente fundamental a ese nivel de carga:

$$THD = \frac{I_h}{I_1}$$

La THD relativa, viene dado por esta fórmula alternativa, en la que $I_{1f.l.}$ es la componente fundamental de la corriente en la situación de plena carga.

$$THD_r = \frac{I_h}{I_{1f.l.}}$$

La evolución de ambos parámetros se muestra en la tabla I para distintos niveles de potencia del accionamiento que actúa como carga.

Tabla I. Funcionamiento del FBA a cargas intermedias

Potencia ASD [kW]	THD [%]	THDr [%]	I_1 [A _{RMS}]	I_h [A _{RMS}]	Fdp	F. desplaz.
75.0 (100.0%)	5.48	5.48	112.79	6.18	0.9722 ind.	0.9734 ind.
60.6 (80,8%)	6.20	5.32	89.48	5.55	0.9870 ind.	0.9888 ind.
45.3 (60.3%)	7.41	4.34	66.07	4.90	0.9965 ind.	0.9992 ind.
30.0 (40.0%)	9.62	3.75	44.09	4.23	0.9865 cap.	0.9912 cap.
15.0 (20.1%)	14.03	3.17	24.91	3.57	0.8699 cap.	0.8791 cap.

En la figura 4 se puede observar la evolución gráfica de la THD relativa y la THD, en función del nivel de carga del accionamiento. Se constata como efectivamente, la distorsión en corriente introducida en la red es en forma absoluta creciente con el nivel de carga. En el diseño empleado en este ejemplo se consigue una limitación de esta distorsión a niveles inferiores al 6% lo que resulta perfectamente asumible en prácticamente todos los casos.

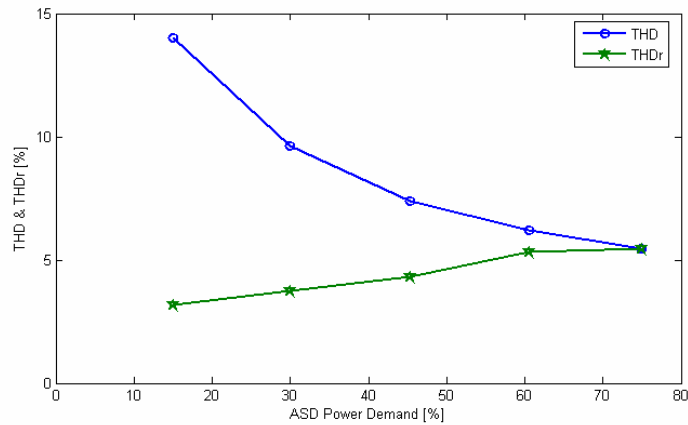


Fig. 4. Distorsión en corriente en un FBA en función de la potencia demandada por la carga

En la figura 5 se observa la corriente absorbida por el conjunto filtro-carga desde la red para distintos niveles de demanda de potencia del accionamiento. También se puede observar en esta gráfica la tensión de fase (escalada), para hacer notar la evolución del desfase entre tensiones y corrientes con el nivel de carga.

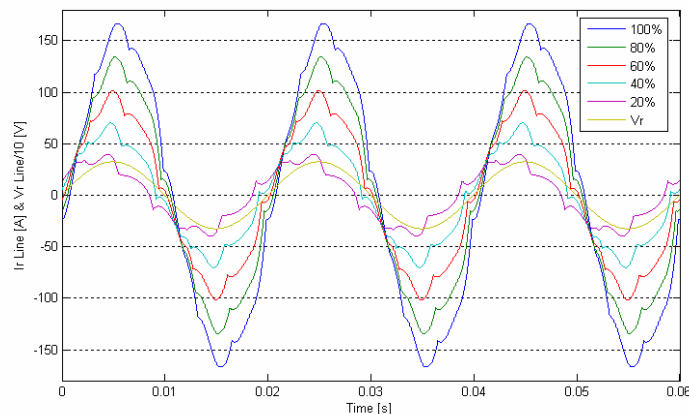


Fig. 5. Corriente absorbida de la red en función de la potencia demandada por la carga

La figura 6 representa la variación del f.d.p. (y factor de desplazamiento) con el nivel de potencia demandado por la carga. Nótese como en este ejemplo se ha optado por un diseño en que el f.d.p. unidad se alcanza a un nivel de carga cercano al 60%. Con esto se consigue un buen comportamiento en prácticamente todo el rango de potencias, a costa eso sí de una demanda de potencia reactiva a plena carga (poco significativa en cualquier caso).

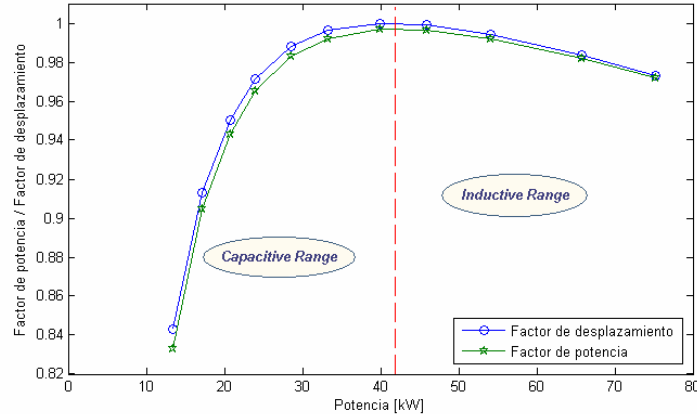


Fig. 6. F.d.p. y Factor de desplazamiento en función de la potencia demandada por la carga

Para finalizar el resumen de esta tarea, decir que se ha estudiado también el efecto de la presencia de desequilibrios en la tensión de alimentación sobre la efectividad de este tipo de filtros. Tal y como mostrarán los siguientes resultados, este tipo de filtrado resulta ser bastante robusto en este aspecto, al contrario de lo que ocurre con otros sistemas tales como el empleo de transformadores de triple devanado asociados a rectificación de 12 pulsos, en los que la literatura demuestra una notable pérdida de efectividad ante estas situaciones.

En este sentido el mayor problema que presenta el filtro consiste en que debido a la presencia de la frecuencia de antirresonancia, existe una cierta amplificación inevitable de los armónicos de orden 3. Esto no constituye ningún problema para el caso de un funcionamiento perfectamente equilibrado dado que en estas circunstancias los armónicos de orden 3 no están presentes en este tipo de dispositivos trifásicos. Sin embargo cuando aparece un cierto desequilibrio, ya sea el inherente a la red (que por normativa no ha de superar el 3%), o aquél debido al propio accionamiento (no son de esperar desequilibrios importantes en estos equipos salvo fallo de algún componente), entonces sí que el tercer armónico está presente.

La elección de una adecuada resistencia en el filtro ha conducido a una amplificación aceptable, siempre inferior al 140%. Dado que aunque presentes, estos armónicos no característicos son de amplitudes muy limitadas, esta amplificación no tiene porqué suponer problema alguno.

Se muestran en la Tabla II los resultados ofrecidos para el caso de un desequilibrio de tensión de alimentación del 3%. (Hay que tener en cuenta que el nivel de desequilibrio es una magnitud de naturaleza compleja, y por tanto desequilibrios de igual amplitud pero ángulo de desfase entre secuencias distinto al empleado en este ejemplo, pueden conducir a resultados ligeramente distintos). Se ha mostrado por otra parte los resultados más desfavorables (téngase en cuenta que debido al desequilibrio los parámetros mostrados son distintos en cada fase).

Tabla II. Comportamiento del FBA ante desequilibrio en la tensión de alimentación

Nivel de desequilibrio [%]	THD _{máx} [%]	I _{LINE} máx [A _{RMS}]	I _{3LINE} máx [A _{rms}]	I _{3LOAD} máx [A _{rms}]
0	5.47	113.11	0	0
1.0	6.15	115.55	3.16	2.43
2.0	7.89	117.86	6.33	4.89
3.0	10.23	119.98	9.56	7.36

Como se puede apreciar en esta tabla, la pérdida de eficacia de filtrado es bastante limitada, superando apenas el 10% el valor máximo encontrado para la distorsión armónica en corriente.

Tarea 5B – 3a: Diseño de prototipo de FBA

Esta tarea se encuentra finalizada en la actualidad. En base al modelo desarrollado en la tarea 5B-1A, así como al conjunto de conclusiones alcanzadas en la tarea 5B-2A sobre el comportamiento y diseño óptimo de los FBA, se ha procedido a la determinación de los valores óptimos para un filtro de potencia media. Este filtro, que según se planteaba en la propuesta inicial tendría que tener una potencia en torno a 100kW, ha sido diseñado, una vez elegida la ubicación en la que será instalado, para una potencia de 75kW.

Se muestran en la Tabla III los valores de diseño más significativos de dicho filtro. Se hace notar que se ha respetado un margen de seguridad del 20%. Debe tenerse en cuenta que la instalación elegida puede puntualmente trabajar en condiciones de sobrecarga, así también se debe considerar el hecho de que los desequilibrios pueden dar lugar al incremento de las variables soportadas por los componentes del dispositivo.

Tabla III. Valores de diseño para un FBA de 75 kW

Componente	Valor de diseño	I _{rms} nominal [A]	V _{rms} nominal [V]	Potencia nominal [W]
L1	0,73 mH	136	400	-----
L2	1,90 mH	41	400	-----
L3	0,32 mH	145	400	-----
C	220 μF	-----	400	-----
R	100 Ω	-----	400	120

El comportamiento esperado para este filtro es el reflejado en los ejemplos ofrecidos en este informe en el caso de la tarea 5.B-2a, al haberse empleado en la descripción de esa tarea precisamente los resultados correspondientes a este caso evitando así reiteración en la información mostrada aquí. La respuesta en frecuencia puede observarse en la figura 7.

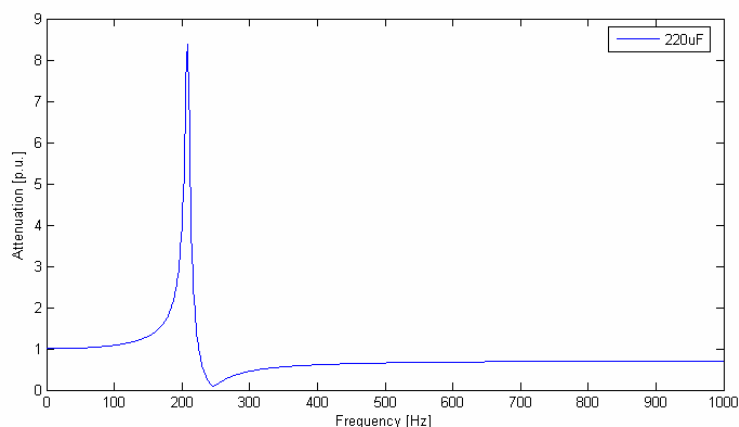


Fig. 7. Diseño de la respuesta en frecuencia del prototipo de FBA de 75kW

Debe tenerse en cuenta que esta respuesta en frecuencia no permite visualizar de forma directa la capacidad de filtrado del dispositivo, dado que representa únicamente la atenuación ocasionada por el filtro sobre las corrientes demandadas por la carga, una vez instalado éste. Debe tenerse en cuenta que la introducción de la importante impedancia serie que supone el filtro respecto a la carga, causa ya de por sí una drástica reducción del contenido armónico de las corrientes en el punto de conexión de la carga no lineal. El efecto conjunto de ambos fenómenos, conduce, tal y como se ha mostrado en la figura 4 a una distorsión armónica en

corriente para la corriente demandada de la red apenas superior al 5%, y con una baja dependencia de la potencia de cortocircuito del emplazamiento.

Tarea 5B – 4a: Fabricación y puesta en marcha del prototipo de FBA

Esta tarea se encuentra próxima a su finalización. Los componentes principales del prototipo han sido ya acopiados, y en la actualidad se procede a su puesta en marcha en el laboratorio de Máquinas Eléctricas del Grupo de Investigación en el Campus de Gijón de la Universidad de Oviedo.

Resta sin embargo el montaje en envoltorio del dispositivo, de cara a la capacitación del mismo para poder ser emplazado de forma segura en la instalación en que se efectuarán los ensayos en campo, contemplados en la tarea 5B-5a que se debe acometer a continuación.

De acuerdo a la programación la tarea 5B-4a debería de haber concluido en el mes de enero de 2009, si bien se ha prolongado durante un par de meses más, debido en especial a los largos plazos impuestos por el fabricante de los elementos inductivos del filtro para su construcción. De cualquier forma, y tal y como se pone de manifiesto en el siguiente punto de este informe esto no ha dado lugar a retrasos importantes en su ejecución al poder ser compensado con el adelanto de otras tareas.

A la hora de proceder a la definición práctica de los elementos necesarios, así como a materializar el encargo de su fabricación, ha sido fundamental la labor desempeñada por los técnicos de la empresa TEMPER SAU que colabora como EPO en este proyecto. En las siguientes fotografías (figuras 8, 9 y 10) se muestran los distintos componentes inductivos contruidos de forma expresa para el prototipo, al no tratarse de elementos estándar.



Fig. 8. Inductancia L1

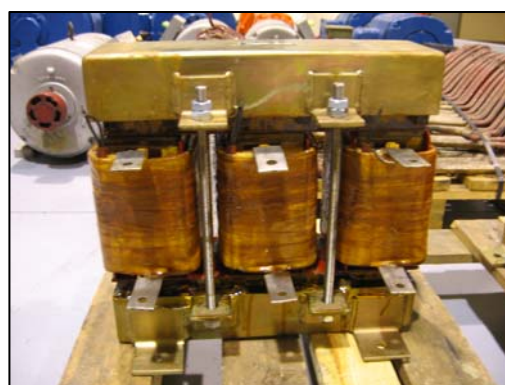


Fig. 9. Inductancia L3

La inductancia L1 es la de conexión a red, y resulta ser el elemento más voluminoso y pesado de los que constituyen el filtro. La inductancia L3 es la de conexión a carga. Los ensayos de caracterización del componente realizados durante el proceso de fabricación por el suministrador (aparte de los preceptivos ensayos de aislamiento y rigidez dieléctrica que fueron pasados sin problemas), son mostrados en la tabla IV, y sitúan estos componentes dentro de las tolerancias aceptables.

Tabla IV. Pruebas de caracterización de componentes (I)

Componente	Tensión de ensayo [V]	Frecuencia de ensayo [Hz]	Z [mΩ]	R [mΩ]	X [mΩ]	L [mH]	ΔL [%]
L1	55,11	50	231,7	5,7	231,6	0,7373	+1,0
L3	25,90	50	102,9	2,4	102,9	0,3274	+2,3

La inductancia L2 es un elemento especialmente delicado en el dispositivo, dado que de su oportuno ajuste dependerá la correcta sintonización de la frecuencia de resonancia con el elemento capacitivo. Ante el elevado coste que supone la construcción de estos elementos no

estándar, y el riesgo de no lograr un buen ajuste en esta sintonización, se consideró durante el proceso de diseño la conveniencia de fabricar esta bobina con 3 tomas, en torno al valor inductivo de referencia, de cara a garantizar la validez del componente, aún cuando las tolerancias de fabricación solicitadas para ella misma así como para el condensador no fueran cumplidas de forma estricta. Esta posibilidad abre además la vía para que durante la vida útil del filtro, y una vez que se detecte la pérdida de efectividad del mismo por la pérdida de características de los componentes (especialmente la degradación del elemento capacitivo), un cambio de toma permita hacer llevar a este a un punto de funcionamiento que de nuevo muestre unas características óptimas de filtrado. Las tomas alternativas de la inductancia L2 fueron ejecutadas para un $\pm 5\%$ del valor inductivo de referencia mostrado en la tabla III.



Fig. 10. Inductancia L2



Fig. 11. Detalle de tomas de regulación en L2

En la tabla V se pueden observar los resultados del ensayo de caracterización de esta inductancia, que han sido en este caso llevados a cabo de forma independiente en cada una de las tomas de regulación contempladas.

Tabla V. Pruebas de caracterización de componentes (II)

Componente	Tensión de ensayo [V]	Frecuencia de ensayo [Hz]	Z [m Ω]	R [m Ω]	X [m Ω]	L [mH]	ΔL [%]
L2 -5%	40,70	50	566,2	23,2	565,7	1,8008	-5,2
L2 0%	43,30	50	600,5	23,1	600,0	1,9099	+0,5
L2 +5%	45,76	50	635,6	23,2	635,2	2,0218	+6,4

De cara a la protección del dispositivo, las 3 inductancias han sido dotadas de dispositivos de protección térmica (termistores PTC) en todas las columnas (ver figura 12).

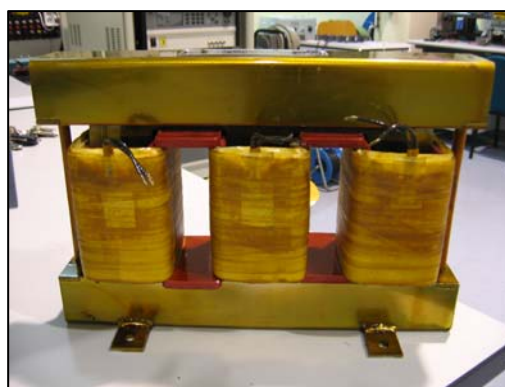


Fig. 12. Vista posterior de L2, donde se aprecia la disposición de los termistores

Esto permite generar una señal de alarma térmica que produzca la actuación del dispositivo de desconexión del filtro, de cara a evitar la destrucción por sobrecarga de los componentes. Esta decisión ha sido tomada en base a las siguientes consideraciones: por un lado, la potencia nominal prevista para la carga podrá ser superada en determinadas

circunstancias, si el accionamiento actúa en sobrecarga. Eventualmente esta circunstancia se podría prolongar en el tiempo, dando lugar a la destrucción de los elementos inductivos. Si bien éstos han sido sobredimensionados de acuerdo a este aspecto, se ha considerado apropiado el contar con un dispositivo de protección adecuado.

Por otro lado, el caso de la inductancia L2 es especialmente significativo, dado que supone junto con el condensador un camino paralelo de baja impedancia para las corrientes armónicas (a partir del 5º orden). Si bien éstas han sido tenidas en cuenta, y se ha procedido también a su sobredimensionamiento, no es posible calcular de forma exacta estas corrientes en cualquier régimen de funcionamiento, por lo que una protección de tipo térmico es aquí especialmente recomendable. En la figura 12 se puede observar precisamente la ubicación de los termistores en L2, junto con sus correspondientes terminales.

En la actualidad se está procediendo a la puesta en marcha del filtro, mediante un premontaje en laboratorio y prueba a bajo nivel de carga (11kW), mediante el banco de ensayos del laboratorio de máquinas eléctricas. Esto va a permitir de forma inmediata, el conocer si la respuesta en frecuencia del conjunto corresponde a las expectativas, para proceder a los ajustes precisos en caso de que fuera necesario. Esto resulta ser una fase previa al montaje del filtro en envoltorio metálica con los correspondientes dispositivos de conexión, desconexión y by-pass, lo que permitirá una instalación segura del prototipo en campo. La figura 13 muestra la ubicación actual del filtro en el laboratorio durante las pruebas a baja potencia. En el desarrollo de estas pruebas se está empleando la fuente trifásica programable cuya ampliación ha sido financiada con cargo a este Proyecto, y que también aparece en la imagen.



Fig. 13. Premontaje del prototipo en laboratorio

Son así las tareas 5B-5a (Estudio del funcionamiento del FBA en condiciones reales. Proceso de envejecimiento y determinación de la vida útil) y 5B-6a (Desarrollo de herramienta para el diseño de FBA) que dentro de la actividad 5B, y en lo que se refiere a los Filtros de Banda Ancha, quedan pendientes de ejecución para el próximo año de vida del proyecto.

Tarea 5B – 1b: Construcción de un modelo de FTA

Esta tarea está concluida. Su desarrollo inicial tuvo ya lugar al amparo del Proyecto Puente ENE2006-07014/CON dentro del Plan Nacional de Investigación. Durante la fase actual del proyecto, se concluyó el desarrollo de un modelo eléctrico del filtro mediante la utilización de la herramienta Simulink del programa MatLab®. En la captura adjunta (figura 14) puede observarse el modelo del filtro conectado a una carga lineal monofásica, junto con los sistemas de medida precisos para atender a su funcionamiento.

También en este caso resulta importante disponer de un modelado consistente del dispositivo, pues esto facilita el resto de las tareas. Se ha con este fin aligerado el modelo en lo posible de los efectos menos importantes, y llegado a un compromiso entre exactitud en los cálculos y velocidad de las simulaciones, de cara a optimizar las posteriores baterías de pruebas.

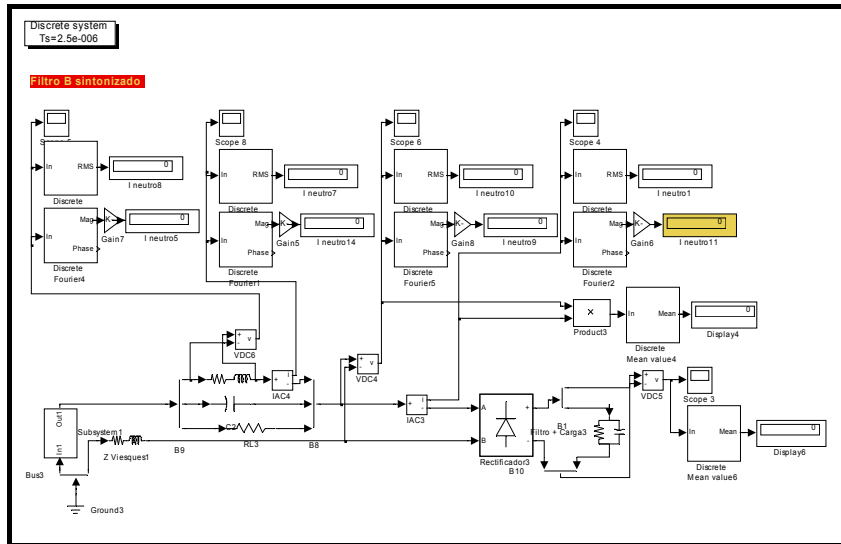


Fig. 14. Captura del modelo de FTA desarrollado en el entorno Simulink

Tarea 5B – 2b: Estudios teóricos sobre el diseño y funcionamiento del FTA

Esta tarea se encuentra ya finalizada. Se han realizado una serie de estudios que han permitido establecer los criterios necesarios para proceder al diseño óptimo de este dispositivo. Para ello se ha tenido aquí especial cuidado con el problema de la pérdida de sintonización del filtro. Un alejamiento sustancial de la frecuencia de resonancia esperada de 150 Hz, hace que la efectividad del filtro decaiga rápidamente. Este fenómeno es aquí mucho más importante que en el caso de los FBA, que por tratarse de filtros pasabajos pueden conseguir un buen funcionamiento con tal sólo prever una ubicación de la frecuencia de resonancia en valores ligeramente inferiores a la frecuencia objetivo.

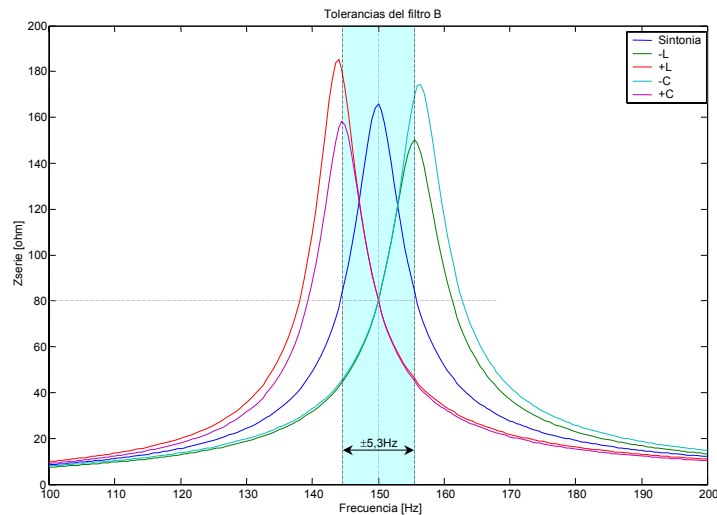


Fig. 15. Estudio de tolerancias del filtro ante las pérdidas de sintonía

Se ha conseguido, atendiendo a este hecho, conseguir un diseño que permite un margen de tolerancia de $\pm 5,3\text{Hz}$ en la frecuencia de resonancia (ver figura 15), aún con niveles de atenuación adecuados. Esto hace viables las tolerancias que presentan los componentes comerciales que se espera poder usar durante el proceso de fabricación de estos filtros.

En la tabla VI podemos observar el análisis de comportamiento del filtro elegido, comparado con el caso de no utilizar este tipo de filtrado, así como previendo distintos tipos de desintonización a causa de la tolerancia o degradación de los componentes.

Tabla VI. Comportamiento del filtro ante pérdidas de sintonía

	$I_{\text{Linea (3)}} [A]$	Filtrado [%]	$V_{\text{pico-Carga}} [V]$	$V_{\text{rms-Filtro}} [V]$	$V_{\text{Filtro (3)}} [V]$	$I_{\text{rms-Filtro}} [A]$	$I_{\text{Filtro (3)}} [A]$	$V_{\text{pico-Tr.f}} [V]$	$I_{\text{pico-Tr.f}} [A]$
Caso 1	4,20	-	324,92	-	-	-	-	-	-
Caso 2	0,31	92,6	270,15	55,27	52,18	9,03	7,36	424,74	134,61
Caso 3	0,66	84,3	269,45	58,13	53,17	9,69	8,08	428,03	140,53
Caso 4	0,58	86,2	271,65	54,18	49,23	8,46	6,44	427,40	129,81
Caso 5	0,68	83,8	262,93	59,59	54,24	9,32	7,66	423,22	135,65
Caso 6	0,60	85,7	271,97	52,81	48,22	8,76	6,81	419,55	134,93

Resultados de simulación - suministro de potencia a la carga: 1kW

Caso 1: Simulación sin filtro.

Caso 2: Simulación con el filtro sintonizado a 150Hz.

Caso 3: Simulación con el filtro desintonizado -L.

Caso 4: Simulación con el filtro desintonizado +L.

Caso 5: Simulación con el filtro desintonizado -C.

Caso 6: Simulación con el filtro desintonizado +C.

Se ha estudiado también en profundidad el comportamiento transitorio del FTA, en especial durante el proceso de arranque. Debe tenerse presente que los componentes del filtro deben ser elegidos para que puedan soportar las sobretensiones y sobrecorrientes que aparecen en estas situaciones de funcionamiento. En la figura 16 puede observarse alguno de los estudios llevados a cabo a este respecto y que han contribuido a completar las especificaciones de los componentes.

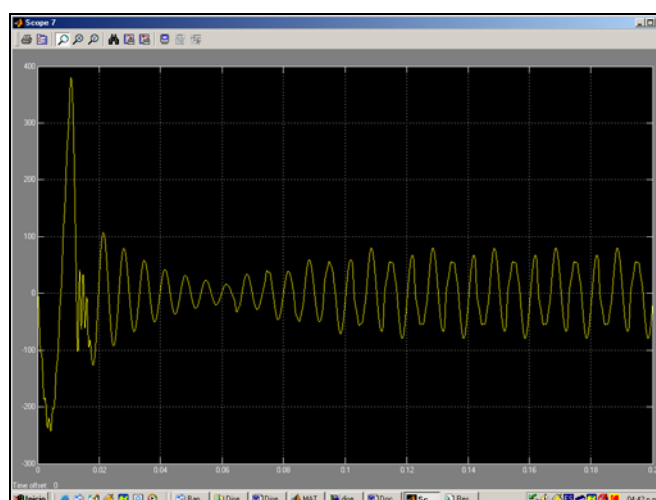


Fig. 16. Tensión en los elementos reactivos durante el transitorio de conexión del filtro

Se ha estudiado también en detalle el comportamiento del filtro a niveles de carga intermedios. Debe de tenerse presente que los circuitos alimentados por estos filtros (alumbrado, cargas ofimáticas, etc.) no funcionan normalmente a plena potencia sino que la actuación a cargas intermedias es completamente habitual. En las tabla VII y VIII podemos observar los resultados de la actuación del filtro tanto a plena carga como a un nivel medio, enfrentados a la situación de no utilizar sistema de filtrado alguno.

Tabla VII. Nivel de carga intermedio (en torno a 480W)

	$I_{\text{Linea}} [A]$	$I_{\text{Linea (3)}} [A]$	Filtrado [%]	$V_{\text{rms-Carga}} [V]$	$V_{\text{pico-Carga}} [V]$	$V_{\text{rms-Filtro}} [V]$	$V_{\text{Filtro (3)}} [V]$	$I_{\text{rms-Filtro}} [A]$	$I_{\text{Filtro (3)}} [A]$	$P_{\text{real}} [W]$
Caso 1	3,31	1,82	-	240,02	330,24	-	-	-	-	478
Caso 2	2,78	0,26	85,7	245,41	294,73	40,72	39,23	5,61	4,92	485

Caso 1: Ensayo sin filtro.

Caso 2: Ensayo con filtro.

Tabla VIII. Nivel de carga alto (en torno a 930W)

	I _{Línea} [A]	I _{Línea (3)} [A]	Filtrado [%]	V _{rms-Carga} [V]	V _{pico-Carga} [V]	V _{rms-Filtro} [V]	V _{Filtro (3)} [V]	I _{rms-Filtro} [A]	I _{Filtro (3)} [A]	P _{real} [W]
Caso 1	6,06	3,43	-	239,16	326,67	-	-	-	-	935
Caso 2	4,87	0,23	93,3	246,58	287,55	51,82	48,18	7,75	6,20	930

Caso 1: Ensayo sin filtro.

Caso 2: Ensayo con filtro.

Se puede observar como la efectividad del filtro es ligeramente menor a media carga, si bien su comportamiento (filtrado de un 85,7% del tercer armónico en corriente) puede considerarse aún así excelente.

Se ha prestado también atención a la protección del dispositivo y la instalación ante posibles fallos. Para ello se ha dotado al elemento inductivo de una protección térmica basada en un termistor. Además se ha dotado al filtro de by-pass, para poder alimentar la instalación en el caso de fallo del sistema, en tanto se sustituye el mismo.

Tarea 5B – 3b: Diseño de prototipo de FTA

Esta tarea se encuentra ya concluida. En base a los estudios realizados en la tarea 5B-2b y a la utilización del modelo matemático obtenido en la tarea 5B-2a se ha procedido a determinar los parámetros óptimos para un FTA monofásico de 16 A. Los parámetros más significativos de los componentes que se han considerado óptimos para la construcción del prototipo son los mostrados en la tabla IX (destacados en verde) donde se comparan con otros casos estudiados.

Tabla IX. Estudio conducente a la elección de componentes del prototipo

C (μF)	L (mH)	R (mΩ)	I _{150Hz} (A)	Filtr. (%)	Z _{50Hz} (%)	U _{150Hz} (V)	I _{res} (A)	P _{carga} (W)	P _{filt.} (W)
470	2,40	100	0,83	79,4	1,7	42,42	19,50	1018	36
330	3,41	200	0,87	78,3	2,3	45,16	15,00	997	36
220	5,12	450	0,89	77,8	3,5	46,18	10,83	976	43
150	7,51	950	0,88	78,1	5,4	46,80	8,26	948	65

No se reproducen en este punto nuevos resultados de comportamiento de este filtro, dado que éstos han sido utilizados en las figuras y tablas de la tarea anterior, a fin de no ser reiterativos.

Tarea 5B – 4b: Fabricación y puesta en marcha del prototipo de FTA.

Esta tarea se ha completado ya en su totalidad. Se ha procedido al acopio del material necesario, lo cual en este caso a resultado mucho más sencillo que en los FBA, por haberse conseguido un diseño basado en dispositivos estándar.

Los distintos componentes, junto con los sistemas de protección adecuados ya comentados (by-pass y modo ON/OFF ejecutado mediante un interruptor de 3 posiciones, y protección térmica), han sido emplazados en una envolvente que permite la instalación del dispositivo en cualquier tipo de ambiente real. Se ha prestado además una especial atención a que este prototipo permita la conexión de forma sencilla (mediante una especial ubicación de los terminales) de los transductores necesarios para poder llevar a cabo la monitorización de su comportamiento con comodidad.

En las figuras 17 y 18 se pueden apreciar imágenes de la parte exterior e interior del prototipo.

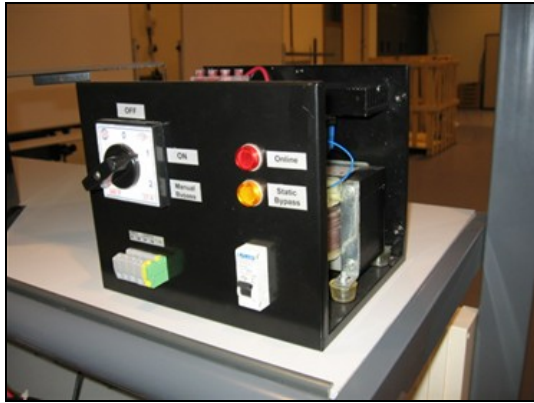


Fig. 17. Prototipo FTA. Parte frontal.

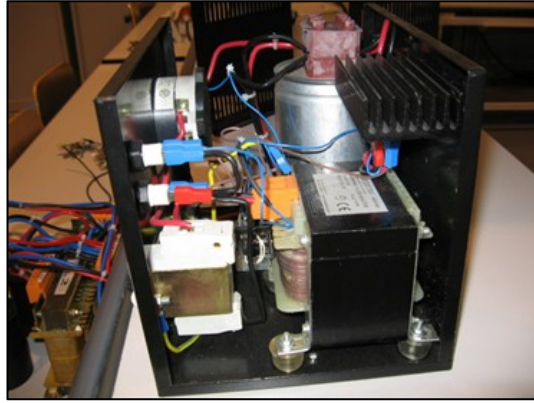


Fig. 18. Prototipo FTA. Interior.

Restan por tanto las tareas 5B-5b (Estudio del funcionamiento del FTA en condiciones reales. Proceso de envejecimiento y determinación de la vida útil) que dentro de la actividad 5B, y en lo que se refiere a los Filtros de Tercer Armónico, quedan pendientes de ejecución para el próximo año de vida del proyecto.

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

No han aparecido problemas importantes en la ejecución del proyecto.

Se puede señalar, aún tratándose de un hecho poco significativo, el largo plazo de entrega ofrecido por los suministradores a la hora de proceder a la fabricación de las inductancias no estándar empleadas en el Filtro de Banda Ancha. Si bien estos plazos resultaron ser bastante superiores a los previstos en la programación, lo cuál ha retrasado el comienzo de los ensayos, esto no ha tenido consecuencias graves en el desarrollo del Proyecto, dado que se ha podido compensar con el adelanto de otras actividades, en especial las relacionadas con los Filtros de Tercer Armónico.

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 MICINN.

Apellido 1	Apellido 2	Nombre	NIF/NIE	Catg ^a Profesional	Incluido en solicitud original	Si no incluido en solicitud original:		
						Función en el proyecto	Fecha de Alta	Observaciones
Cano	Rodríguez	José Manuel	09.406.074V	Profesor Titular de Universidad	S			
Alonso	Orcajo	Gonzalo	10.855.789L	Profesor Titular de Universidad	S			
Rojas	García	Carlos Hirám	53.782.545N	Profesor Contratado Doctor	S			
Pedrayes	González	J. Francisco	10.863.666F	Ayudante – Indefinido	S			
Joaquín	González	Norniella	53.543.222-G	Ayudante – Indefinido	N*	Investigador	5 - Enero - 2009	Aprobado por el MICINN por comunicado de 30 de Enero

* La fecha de incorporación es en realidad posterior al periodo que se justifica.

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.

Si bien se trata de un proyecto coordinado, este subproyecto no corresponde al coordinador.

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.

La empresa TEMPER S.A.U., actúa como Ente Patrocinador Observador (EPO) en este proyecto, ejerciendo una participación activa en el mismo.

En las tareas señaladas en la programación del proyecto, interviene personal de la empresa en apoyo de los investigadores de la Universidad de Oviedo. Debido a la experiencia de este personal en los temas relativos a la calidad del suministro eléctrico, han colaborado decisivamente en la construcción de los prototipos, tanto del Filtro de Banda Ancha como del Filtro de Tercer Armónico. Gracias a su participación se ha podido en esta fase contactar directamente con fabricantes, de cara a ejecutar los elementos necesarios para los filtros objeto de estudio; lo que como se ha señalado en la descripción de las tareas realizadas no siempre es sencillo al tener que recurrir en ocasiones a elementos no estándar.



Por otro lado, este personal incluye en el programa de los seminarios de formación que imparte a técnicos e instaladores de todo el país, sobre temas relacionados con la Calidad de Onda, muchas de las conclusiones que se van alcanzando en el proyecto, y en particular aquellas que ya a día de hoy se encuentran más desarrolladas como son las relativas a la utilización de Filtros de Tercer Armónicos. Esto contribuye a facilitar decisivamente las tareas de difusión de resultados, aunque sean estas complementadas con otras actividades como las referidas en el punto 3 de este apartado.

El resto de las empresas involucradas en la petición, TSK Electrónica y Electricidad, y Moreda Riviere Trefilerías S.A., se limitan a mostrar su apoyo al mismo, dado el interés que para sus respectivos sectores tiene la problemática de la Calidad de Onda, de acuerdo también a lo planteado en la solicitud de este proyecto.

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

El Proyecto de referencia permite a los investigadores de la Universidad de Oviedo centrarse en los temas relativos a Calidad del Suministro eléctrico, lo que posibilita entablar relaciones con otro tipo de entidades, especialmente en el ámbito empresarial, demandantes del conocimiento acumulado por el Grupo. En el periodo que atañe a este informe, esto es el año 2008, los proyectos que han llegado a tener una plasmación real, esto es, con reflejo en un contrato al amparo del artículo 83 de la LOU han sido los que se citan a continuación con una descripción somera.

Por un lado se ha procedido a prorrogar el contrato de asesoramiento que el Grupo de Investigación de la Universidad de Oviedo mantiene con la empresa TEMPER SAU, que lleva por título "Asesoramiento en la búsqueda de soluciones comerciales para la mejora de la calidad del suministro eléctrico" (FUO-EM-103-04). Este contrato, que marca el comienzo de la

colaboración entre ambas entidades, se mantiene en vigor mediante sucesivas prórrogas desde el año 2004, con importes anuales siempre superiores a los 18.000 €, lo que según pensamos da buena muestra de la satisfacción de la empresa con el apoyo científico y tecnológico que el Grupo le presta dentro de la temática del Proyecto.

Como segundo punto de colaboración con el mundo empresarial dentro de año 2008, es destacable la participación del Grupo de Investigación como entidad contratada en el Proyecto CTEYE. En este proyecto, financiado por el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación de Asturias (PCTIA) 2006-2009, intervienen la empresa eléctrica HC ENERGÍA (grupo EDP) junto con el Grupo ISASTUR. José Manuel Cano Rodríguez (Investigador Principal de este Proyecto), codirige junto a Gonzalo Alonso Orcajo (Investigador en el Proyecto) esta participación, que tiene por objetivo mejorar la calidad del servicio prestado por las compañías eléctricas, mediante la detección temprana de actuaciones de fusibles en las salidas de BT de los Centros de Transformación de la red de distribución. La primera fase de este proyecto, en la que se desarrollaron los algoritmos de detección necesarios ha sido ya concluida. En la actualidad el Proyecto CTEYE se encuentra en una segunda fase (las 3 entidades implicadas concurren de nuevo al citado programa), en la que se pretende llegar a construir una nueva unidad remota, destinada a la supervisión y control de estos Centros de Trasmformación, que incorpore las nuevas capacidades de diagnóstico desarrolladas.



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

El Proyecto ha contribuido, a través de la labor ejercida por el coordinador, a estrechar las relaciones entre los distintos grupos de investigación participantes en este proyecto; grupos pertenecientes a las Universidades de Vigo, Cantabria y Sevilla además de la de Oviedo. Todas las acciones emprendidas están sin embargo bajo el amparo de este proyecto de investigación, por lo que no a lugar el extenderse en este apartado. Cabe no obstante señalar, que miembros de los cuatro grupos han presentado una propuesta de curso de verano ante el Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Cultura y Deportes de la Universidad de Oviedo. El curso, cuya impartición tendrá lugar previsiblemente entre el 13 y el 17 de julio de 2009, lleva por título "Calidad del suministro eléctrico", y su Director Académico es José Manuel Cano Rodríguez (Investigador Principal de este proyecto) estando codirigido por Gonzalo Alonso Orcajo (miembro del Equipo Investigador del mismo). El curso, que se configura a través de 4,5 créditos homologables, está orientado a alumnos de la especialidad eléctrica así como a ingenieros y técnicos interesados en el campo de la calidad de la energía eléctrica. Este evento habrá se servir para transmitir buena parte de la experiencia acumulada por los miembros del Proyecto durante el desarrollo del mismo.

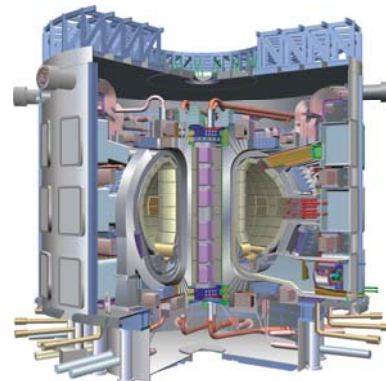
PROPUESTA PARA CURSOS DE VERANO DE 2009/2010	
Fecha Curso Propuesta:	06/02/2009
Código del curso:	04-025-1
Título del curso:	Calidad del suministro eléctrico
Síntesis:	30/0h
Plan de asignaturas:	Electr. de potencia y electrónica
Lugar de impartición:	CAMPUS SUDAN VIEQUES DEPTO GENERAL PLANTA PRESBA (L1) (B)
Proyecto de Materiales:	
Tipo:	Investigación I+D
Coordinador Académico:	José Manuel Cano Rodríguez
Coordinador Administrativo:	
Fecha Presentación:	13/02/2009
Fecha de Revisión:	13/02/2009
EVALUACIÓN	
Calificación:	
Notas:	
Resumen Académico:	
Nombre:	Calidad del suministro eléctrico
Plan:	INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA DE COMPUTADORES Y SISTEMAS
Grupos:	1. Teórico 2. Teórico 3. Teórico 4. Teórico
Nombre:	Calidad del suministro eléctrico
Plan:	INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA DE COMPUTADORES Y SISTEMAS
Grupos:	1. Teórico 2. Teórico 3. Teórico 4. Teórico
Resumen de Extensión Universitaria:	
Facultad:	Ingeniería
Asignatura:	Electrónica
Área de Ingeniería y Tecnología:	
Área de Ingeniería y Tecnología:	INGENIERIA TECNICA
Área de Ingeniería y Tecnología:	INGENIERIA TECNICA
Área de Ingeniería y Tecnología:	INGENIERIA SUPERIOR

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.

La participación en este proyecto coordinado ha contribuido decisivamente a que en los últimos años el equipo de investigación de la Universidad de Oviedo haya acumulado una considerable experiencia en el campo de la Calidad del Suministro Eléctrico. Esto ha tenido reflejo en los últimos meses en que haya sido requerido desde el ámbito empresarial para constituir un

Consortio con el objetivo de dar soporte de ingeniería a la Organización ITER en diversos trabajos.

La Organización ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) es un consorcio internacional creado con el fin de demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la fusión nuclear. Entre sus proyectos se contempla la construcción de un reactor en Caradache (Francia), que por su coste es considerado el segundo proyecto del mundo tras la construcción de la Estación Espacial Internacional.



El Grupo DIMIE (Diagnóstico de Máquinas e Instalaciones Eléctricas) de la Universidad de Oviedo, está integrado por 7 miembros, entre los cuales se encuentran la totalidad del personal asignado al proyecto de Plan Nacional objeto de este informe. Este grupo se ha integrado en el consorcio EPEE (Electrical and Power Electronics Engineering), formado por las empresas ENIA, Goyastur y NATEC así como por el Grupo de Investigación GE2 con el objetivo de ser adjudicatarios de parte de los trabajos de ingeniería contemplados en la acción ITER/C4N/08/42, titulada “Engineering support for executing the electrical engineering analysis”.

Los trabajos a los que opta este consorcio tienen así que ver con el ofrecer soporte de ingeniería en la ejecución de los análisis de la parte eléctrica del sistema, y pueden ser enumerados de forma sucinta en los siguientes puntos.

- Red de distribución eléctrica.
- Sistemas de compensación de energía reactiva y de conversión estática de potencia.
- Sistema de alimentación de las bobinas del reactor.
- Análisis electromagnético mediante el método de los elementos finitos.

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	0
Otros costes de ejecución	24.187.13
TOTAL GASTO REALIZADO	24.187.13

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

La ejecución del presupuesto dentro del ejercicio 2008 se desarrolló con normalidad.

Cabe hacer una matización al respecto, en lo que se refiere a los Gastos de Personal. El proyecto contemplaba la contratación de personal a partir del mes 16 de vigencia del Proyecto. Debe tenerse en cuenta que si bien en la documentación de concesión aparecen gastos de personal en “2ª anualidad (2008)”, debido a la fecha de inicio del Proyecto (1 de octubre de

2007), la incorporación del personal debería tener lugar en el mes de Enero de 2009, lo que sitúa este hecho fuera del ámbito de justificación de este informe.

Resulta conveniente adelantar de cualquier forma, que se han propuestos cambios respecto a la contratación de este personal, que ya han sido aprobados por el MICINN durante el mes de Enero de 2009, y que afectan a nueva incorporación de Investigadores.

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 MICINN.

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.

Identificación del equipo	Importe	Justificación adquisición	Sustituye a ...(en su caso).

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.

--