

***Implantación de Estrategias de Control del Factor de  
Potencia en el Parque Eólico Experimental de  
Sotavento***

***Comparativa Reguladores de Factor de Potencia***

Peticionario: Antonio Dorado Díaz  
Sotavento Eólica  
986 541519

Camilo José Carrillo González  
Eloy Díaz Dorado

Vigo, 25 de octubre de 2006



**Grupo de Electrotecnia y Redes Eléctricas**  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Vigo

Dirección:

E.T.S. de Ingenieros Industriales y Minas  
Lagoas Marcosende, 9 36280 Vigo  
Tel: 986 812221 Fax: 986 812173  
Página WEB: <http://www.le.uvigo.es>  
e-mail: [jcidras@uvigo.es](mailto:jcidras@uvigo.es)



## 1. Introducción

En este informe se presenta la comparativa de las especificaciones técnicas del comportamiento de los reguladores de factor de potencia:

- Lovato DCRJ 12
- Epcos Br6000 /F
- Circutor 9G-3T

## 2. Especificaciones técnicas más relevantes

	Lovato DCRJ12	Epcos BR6000 / S	Circutor 9G-3T
<b>Tensión de medida</b>	Trifásica 100 V a 690 V	Monofásica 30 a 300 V <sup>1</sup>	Monofásica 110 V <sup>2</sup>
<b>Intensidad de medida</b>	5 A	5 A	5 A
<b>Rango Factor potencia</b>	0.8 ind a 0.8 cap	0.8 ind a 0.8 cap	0.8 ind a 0.8 cap <sup>3</sup>
<b>Tipo Consigna</b>	Factor de potencia y estado baterías	Factor de potencia y estado baterías	Factor de potencia
<b>Comunicación</b>	RS485 y RS232	RS 485	NO
<b>Control Remoto</b>	Tiempo real	(pendiente de ensayo)	NO
<b>Generación de alarmas locales</b>	Sí (1)	Sí (2)	NO
<b>Entrada alarmas locales</b>	Sí (1)	<b>No</b>	<b>NO</b>
<b>Relés de salida</b>	12 (11 + 1) <sup>4</sup>	12	9
<b>Potencia reactiva escalones</b>	Configurable	Programada y Configurable	Programada <sup>5</sup>
<b>Tiempo conexión/desconexión baterías</b>	-	1 s – 20 min	4 a 999 s
<b>Descarga baterías</b>	5 s – 4 min	1 s – 20 min	4x4 a 4x999
<b>Sensibilidad</b>	5s – 600s	C/k 0.4 – 0.9	C/k 0.02 – 1.0
<b>Método medición</b>	True RMS	-	-
<b>Cuatro Cuadrantes</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Visualización U,I,P ...</b>	Sí	Sí	No
<b>Visualización THD</b>	No	Sí	No
<b>Principio de Regulación</b>	Conexión: Standard o Lineal <sup>6</sup> Regulación: Standard o Banda <sup>7</sup>	LIFO, FIFO, Inteligente <sup>8</sup> y Desintonía Combinada	-

<sup>1</sup> EPCOS: Se necesita un transformador de tensión para tensiones mayores

<sup>2</sup> CIRCUITOR: Se necesita un transformador de tensión para tensiones mayores

<sup>3</sup> CIRCUTOR: El factor de potencia en valle a de ser inferior a 0.95 inductivo, mientras que en punta ha de ser inferior a 0,95 capacitivo. El factor de potencia en llano ha de estar entre los valores de punta y valle.

<sup>4</sup> LOVATO: Uno de los relés de conmutación de batería se puede configurar para la generación de alarmas.

<sup>5</sup> CIRCUTOR: La programación NO puede hacerse cuando la intensidad de la bobina amperimétrica es nula.

<sup>6</sup> EPCOS: En el modo Estándar el regulador selecciona libremente los pasos. En el modo lineal los pasos se conectan en progresión de izquierda a derecha (LIFO).

<sup>7</sup> LOVATO: En modo estándar, el aparato regula el fdp al valor de ajuste. En modo Banda, los condensadores se conectan cuando el fdp es inferior a su valor de ajuste y se desconectan cuando es

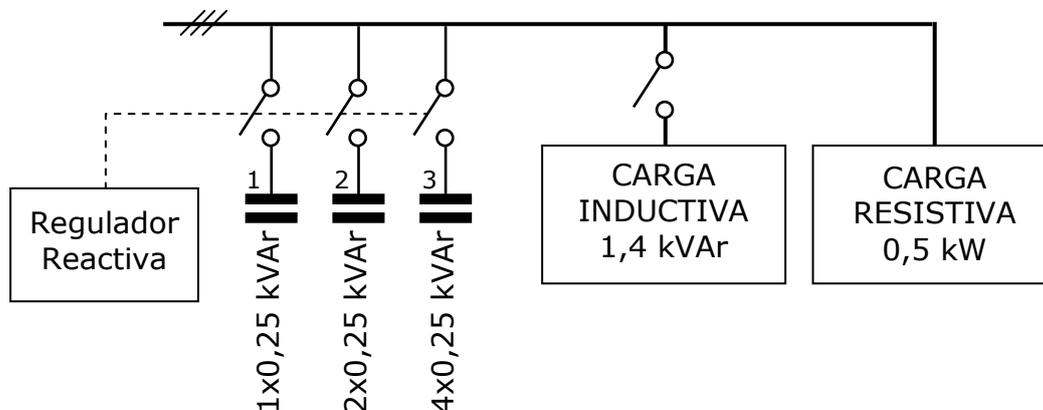
<i>Programa informático de configuración y monitorización</i>	Sí	No	No
<i>Programación de 3 ajustes de cos fi</i>	Sí	No	Sí

### 3. Comportamiento durante la regulación de reactiva

Uno de los aspectos a considerar cuando se trata de comparar dos reguladores de reactiva es su comportamiento durante la regulación automática del factor de potencia. Por ello, los reguladores LOVATO, EPCOS y CIRCUTOR se han ensayado en el laboratorio. Ambos reguladores se han parametrizado de forma similar y se han sometido a las mismas condiciones de funcionamiento.

El montaje trifásico (tensión 400V) en el que se han instalado los reguladores de reactiva es el que se puede ver en la Ilustración 1, consta de una carga resistiva ajustada un valor fijo (0,5 kW), una carga inductiva (1,4 kVAr) y una batería de condensadores con tres escalones de reactiva:

- Escalón nº 1: 1 x 0,25 kVAr
- Escalón nº 2: 2 x 0,25 kVAr
- Escalón nº 3: 4 x 0,25 kVAr



**Ilustración 1: Montaje trifásico para el ensayo de reguladores de reactiva**

Para realizar el ensayo, se ajustan ambos reguladores con parámetros similares:

capacitivo. El modo banda permite reducir el número de maniobras de conexión y desconexión de los pasos.

<sup>8</sup> El principio de regulación inteligente aúna las ventajas de la conexión circular (first in first out), que provoca un menor desgaste de la instalación, con un tiempo de regulación considerablemente más rápido, incluso en el caso de grandes cambios de carga, y lo logra con el mínimo número de conexiones de los pasos del condensador. La rapidez de respuesta se alcanza mediante la conexión simultánea de varios pasos o pasos con más potencia, dependiendo de la ausencia de energía reactiva en la red. Además, se tienen en cuenta tanto el número de conexiones reales de los condensadores como los tiempos de conexión de los pasos. Se alcanza el cos phi deseado en un tiempo de regulación optimizado con una variación de carga reducida de los condensadores.

- Relación del transformador de intensidad<sup>9</sup>: 500 A / 5 A
- Tensión nom.: 400 V (LOVATO) / 230 V (EPCOS) / 110 V (CIRC.)
- Tipo de medida: 3V+1I (LOVATO) / 1V+1I (EPCOS y CIRCUTOR)
- Escalón mínimo: 25,5 kVAr<sup>10</sup>
- Configuración escalones: 1;2;4
- Tiempo de descarga: 5s (LOVATO y EPCOS) / 4x5s (CIRCUTOR)
- Tiempo de conexión baterías: 1s (Sólo EPCOS) / 4s (CIRCUTOR)
- Tiempo de descon. baterías: 1s (Sólo EPCOS) / 4s (CIRCUTOR)
- Sensibilidad C/k: 0.66<sup>11</sup> (sólo EPCOS) / 0.36 (CIRCUTOR)
- Método Regulación: Inteligente (Sólo EPCOS)
- Sensibilidad en s<sup>12</sup>: 5 s (sólo LOVATO)
- Modo Conexión y Regulación: Estándar (sólo LOVATO)

Los pasos seguidos durante la secuencia de ensayo son:

Paso 0. Se parte de una situación donde la carga inductiva está desconectada ( $Q_I = 0$ ) y la consigna de factor de potencia del regulador es  $\cos \varphi = 1$ . En consecuencia, el regulador mantiene desconectadas todos los escalones de reactiva.

Paso 1. Se conecta la carga inductiva ( $Q_I = 1,4$  kVAr) con la consigna  $\cos \varphi = 1$

Paso 2. Se desconecta la carga inductiva ( $Q_I = 0$ ) con la consigna  $\cos \varphi = 1$

Paso 3. Se cambia la consigna del regulador a  $\cos \varphi = 0.95$  capacitivo

Paso 4. Se conecta la carga inductiva ( $Q_I = 1,4$  kVAr) con la consigna  $\cos \varphi = 0.95$  cap

Paso 5. Se desconecta la carga inductiva ( $Q_I = 0$ ) con la consigna  $\cos \varphi = 0.95$  cap

La evolución de la potencia activa, reactiva y el factor de potencia durante el ensayo puede verse en la Ilustración 2 y en la Ilustración

---

<sup>9</sup> Se ha escogido una relación “ficticia” del transformador de intensidad para que el funcionamiento del regulador LOVATO fuese correcto, ya que tiene problemas numéricos con valores del escalón mínimo muy bajos.

<sup>10</sup> Este valor es “ficticio”, el valor real se obtiene dividiendo entre la relación de transformación del transformador de intensidad.

<sup>11</sup> Según el manual del fabricante, este valor no debe ser modificado en condiciones normales.

<sup>12</sup> Este parámetro tiene un valor mínimo de 20 segundos cuando está activo el parámetro P.14 “Ajuste de la potencia de paso”.



3, y la secuencia de conexión/desconexión de los escalones de reactiva puede verse en la Tabla 1.

**Tabla 1: Evolución del estado de los escalones de reactiva durante el ensayo**

Paso Ensayo	0				1				2				3				4				5			
	<b>EPCOS</b>	0	2	12	3	13	3	2	1	0	0	12	3	13	23	3	12	2	1					
<b>LOVATO</b>	0	1			13	3			0	1	0	2		23	3	13		1						
<b>CIRCUTOR</b>	0	2	23	13	1			0	1	12	123		23	3	0		1							

En cuanto a la duración del ensayo, los tiempos de respuesta del EPCOS, LOVATO y CIRCUTOR son similares, siempre que el tiempo de descarga de los condensadores sea bajo. No obstante, el valor mínimo del tiempo de actuación del CIRCUTO es mayor que el de los otros reguladores.

No obstante, si dicho tiempo aumenta, las diferencias en la velocidad de respuesta ante cambios de consigna o de reactiva son considerables. Por ejemplo, si se supone un tiempo de descarga de condensadores de 2 minutos (2:30s para el CIRCUTOR), la duración del ensayo es muy distinta, alrededor de 14 minutos para el EPCOS, 5 minutos para el LOVATO y 10:30 minutos para el CIRCUTOR (ver la Ilustración 5 y la Ilustración 7).

En este punto cabe destacar el comportamiento del CIRCUTOR. El tiempo de descarga de las baterías es cinco veces el tiempo de conexión/desconexión (Parámetro 04). Si se quiere que el tiempo de descarga sea de al menos 150 s, el tiempo mínimo de conexión/desconexión de pasos es de 30s. El regulador CIRCUTOR "impone" un tiempo de actuación entre pasos que es 1/5 del tiempo de descarga o reconexión; esto implica que para conectar/desconectar un paso se va a necesitar esperar como mínimo el tiempo de conexión/desconexión, aunque los condensadores estén descargados.

### RESULTADOS DEL ENSAYO:

- En el caso del regulador EPCOS no se ha apreciado ninguna diferencia significativa entre el comportamiento del regulador con la regulación INTELIGENTE o LIFO.
- El regulador LOVATO tiene problemas de resolución numérica cuando el escalón mínimo de reactiva tiene valores muy bajos ( $\ll 1$  kVAr).



- La parametrización del regulador LOVATO se puede hacer mediante un software propio que se puede utilizar bajo RS232 o RS485. Esto le confiere mucha agilidad a este proceso.
- La gestión de los escalones de reactiva del LOVATO es más eficiente, ya que pasa por menos estados de las baterías de condensadores (ver Tabla 1). Esto puede ser especialmente relevante cuando se incrementa el número de escalones y los tiempos de descarga de las baterías son elevados.
- El regulador EPCOS tiene una evolución más lineal del factor potencia. De todos modos, hay que tener en cuenta que el factor de potencia medio depende en gran medida de los tiempos de actuación (de conexión, de desconexión y de descarga) sobre los escalones.
- El regulador CIRCUTOR tiene un modo de configuración bastante pesado y lento.
- Las opciones de configuración del regulador CIRCUTOR son pocas. Es de destacar que sólo tiene 5 posibles secuencias de paso y no admite secuencias específicas.
- En el CIRCUTOR La tensión de alimentación y referencia es común, lo cual puede originar problemas durante la desconexión de los aerogeneradores. Además, en el equipo ensayado se necesitan dos niveles de tensión: 110 Vca para alimentación/referencia y 24Vcc para el cambio de tarifa.
- En el CIRCUTOR no se sabe si el regulador tiene en cuenta el número de operaciones y el tiempo de funcionamiento de cada paso en el momento de decidir su conexión o desconexión. Además, no tiene actuación manual, ni remota.

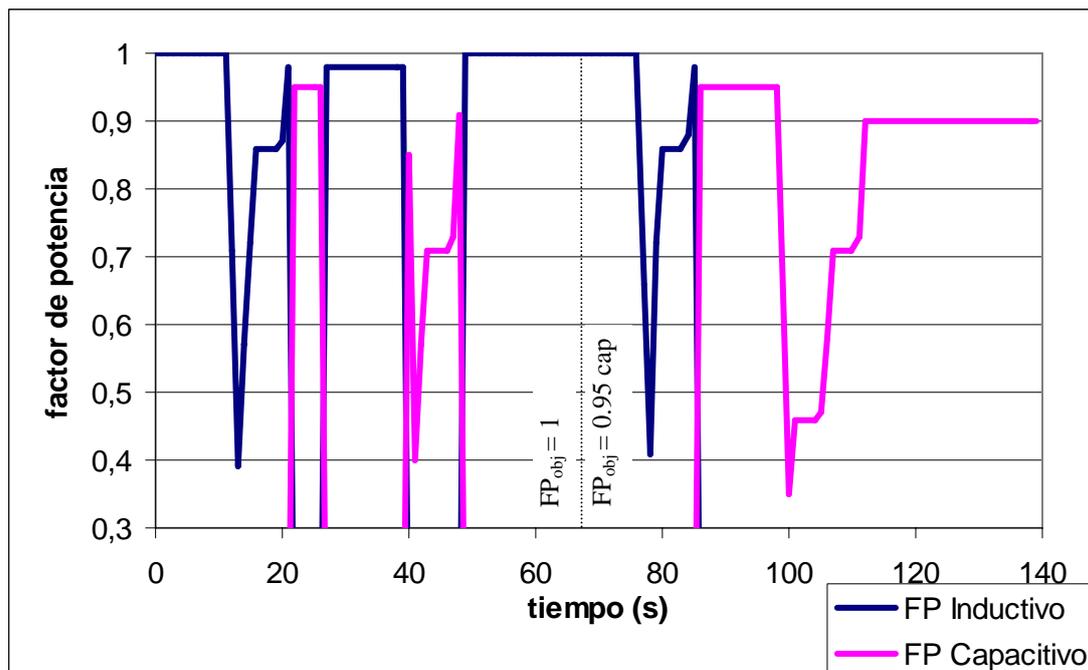
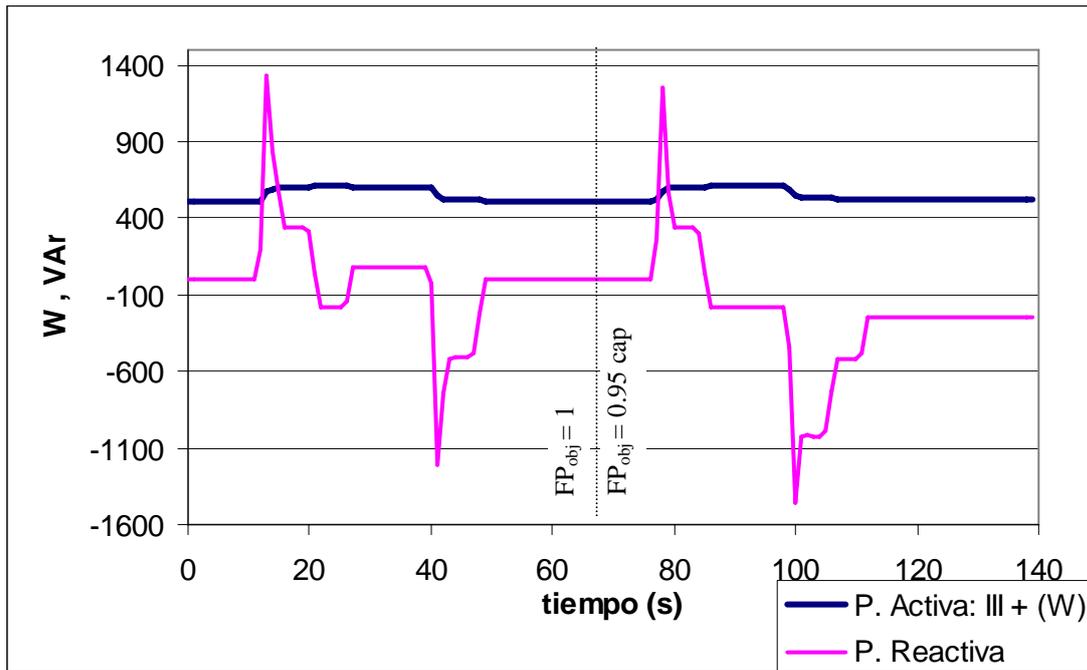


Ilustración 2: Comportamiento durante el ensayo del regulador EPCOS BR6000

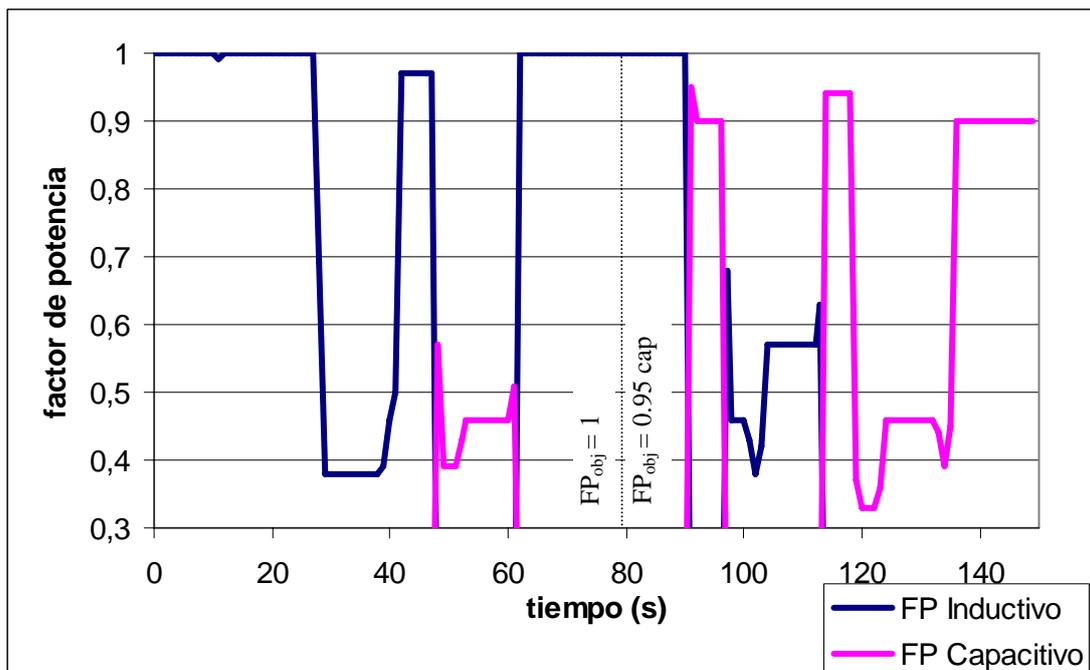
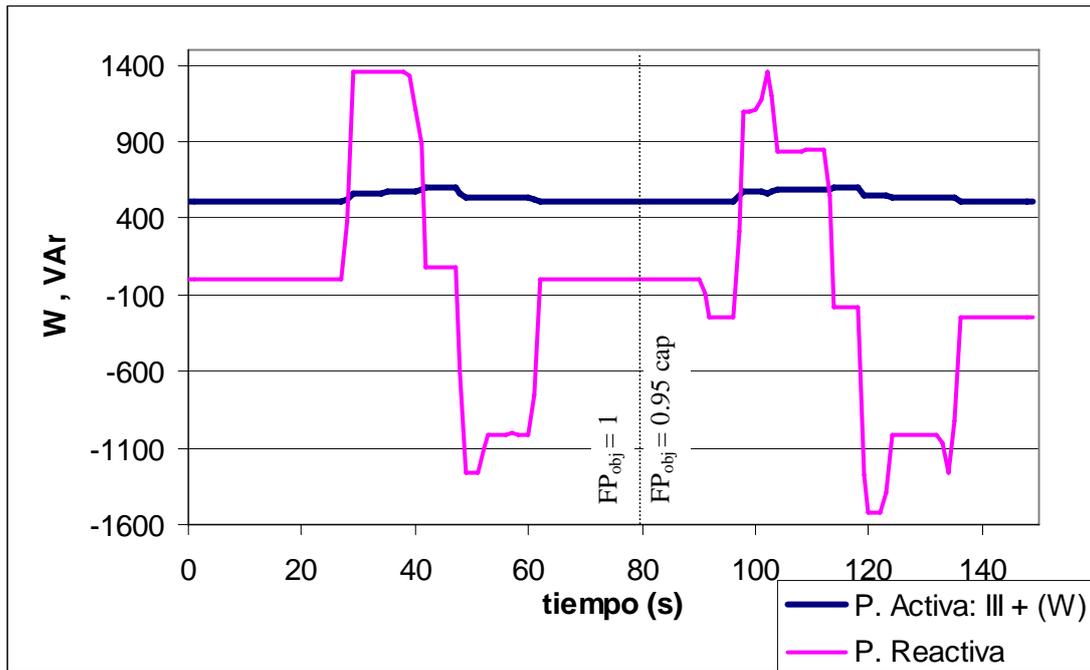


Ilustración 3: Comportamiento durante el ensayo del regulador LOVATO DCRJ12

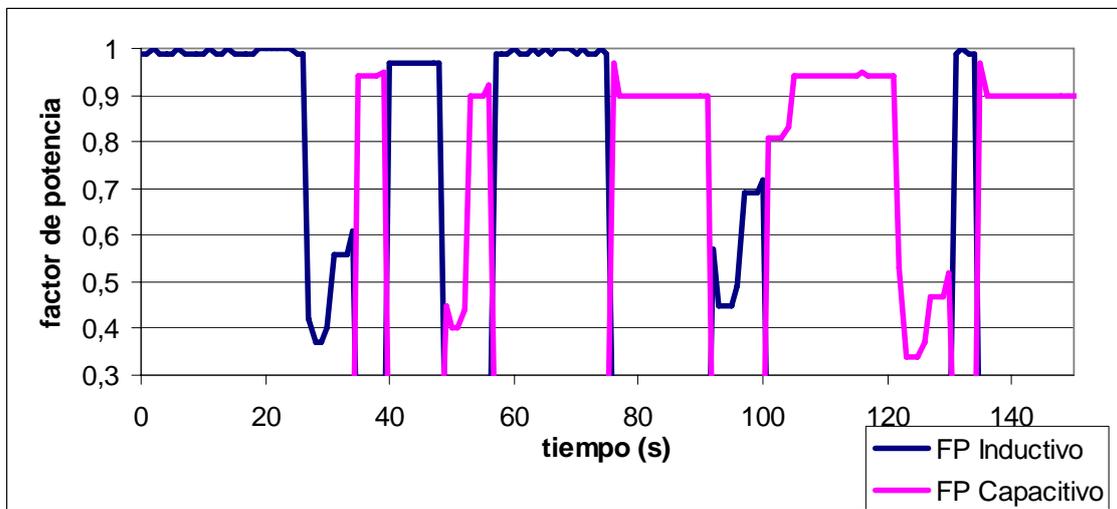
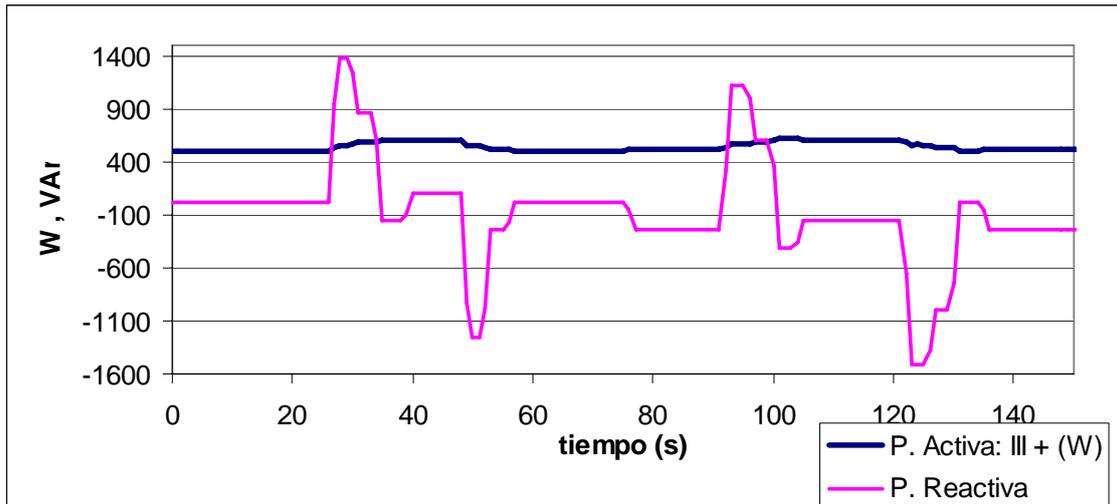


Ilustración 4: Comportamiento durante el ensayo del regulador CIRCUTOR 9G-3T

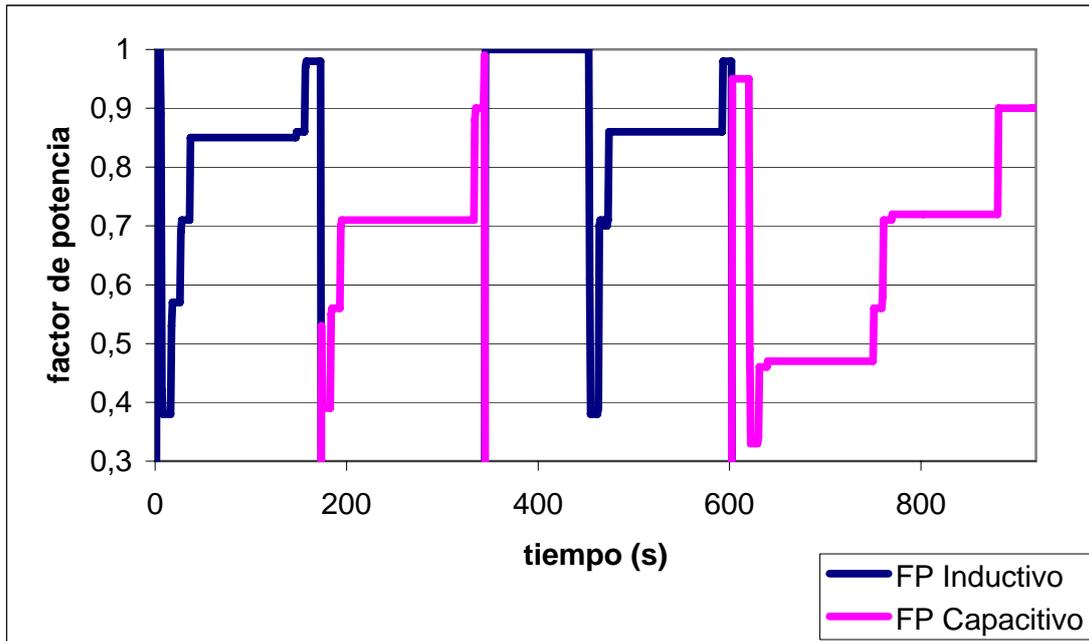


Ilustración 5: Comportamiento durante el ensayo del regulador EPCOS BR6000 con tiempos de descarga de 2 min. de los condensadores

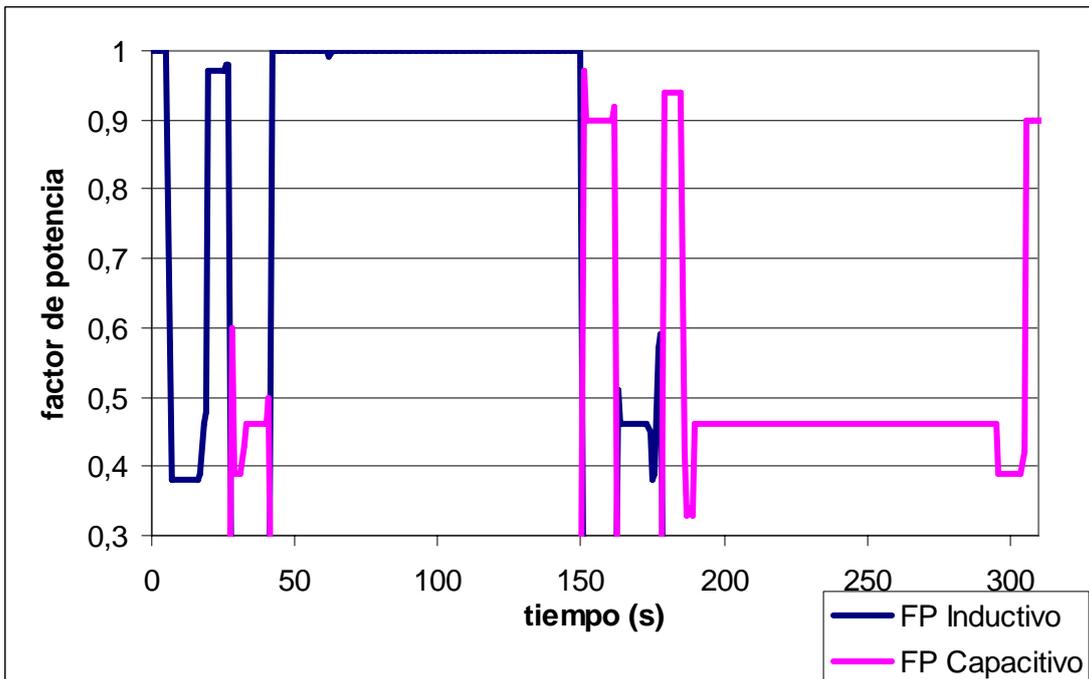
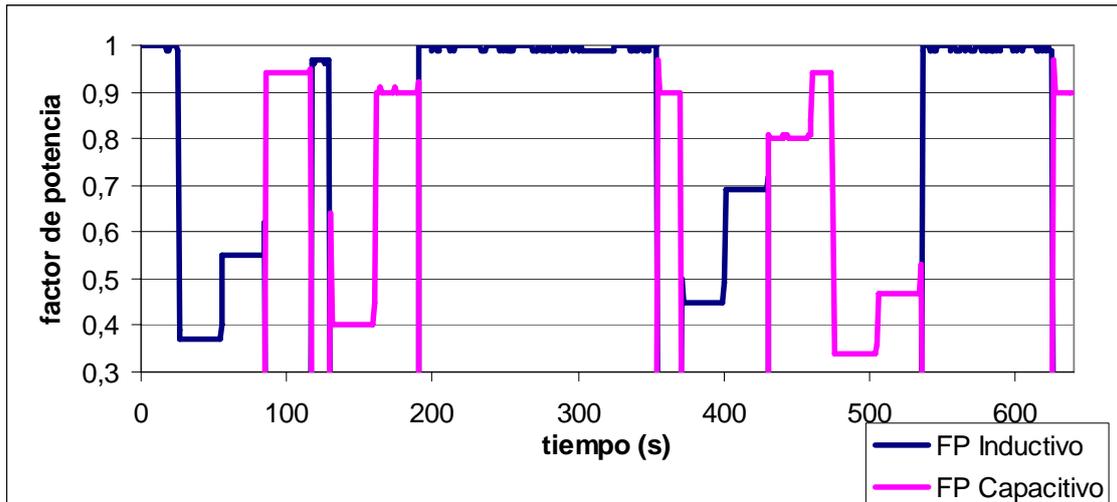


Ilustración 6: Comportamiento durante el ensayo del regulador LOVATO DCRJ12 con tiempos de descarga de 2 min. de los condensadores



**Ilustración 7: Comportamiento durante el ensayo del regulador CIRCUTOR 9G-3T con tiempos de descarga de 2 min. de los condensadores**



#### 4. Comportamiento de las comunicaciones

Uno de los requisitos fundamentales de este proyecto es que los reguladores de reactiva se puedan controlar de forma remota en tiempo real, debiendo admitir consignas de estado de baterías o de factor de potencia.

El control en tiempo real se refiere aquí a que se pueda modificar la consigna del regulador de forma prácticamente instantánea sin que el regulador se reinicie o tenga que pasar por un estado de reposo intermedio.

En el momento de la redacción de este informe, no se ha podido ensayar las comunicaciones del regulador EPCOS. La causa principal es que regulador EPCOS presenta una documentación incompleta en este aspecto, donde cabe resaltar los siguiente aspectos:

- En la regleta del RS485 hay cuatro terminales: "GND", "A", "B" y "SL". El que pone "SL" no está documentado en el manual.
- Hay dos micro-interruptores al lado de la regleta del RS485 que tampoco están documentados.
- El parámetro PROTOCOLO (nº 19 en el MODO EXPERTO) tiene cuatro opciones: MODBUS, MODBUS KTR, ASCII y MASTER/MMI. La última de las opciones no está documentada. Además, en el manual este parámetro aparece referido en varios sitios como el nº 17 cuando en realidad es el nº 19.

#### RESULTADOS

##### REGULADOR LOVATO DCRJ12

Protocolo: RS232 y RS485

Software Monitorización: SÍ (en tiempo real)

Consignas Posibles: factor de potencia y estado baterías

Control en tiempo real: SÍ

##### REGULADOR EPCOS BR6000

Protocolo: RS485

Software Monitorización: NO

Consignas Posibles: (pendiente ensayo)

Control en tiempo real: (pendiente ensayo)



## 5. Conclusión

En el momento de redactar este informe no se ha podido concluir el ensayo del regulador EPCOS en lo referente a las comunicaciones. No obstante, presentan aquí las ventajas de ambos reguladores según los ensayos realizados y el estudio de su documentación.

### Ventajas LOVATO

- Medida trifásica y directa de tensión a 690 V
- Admisión alarmas locales
- Reducido número de conexiones/desconexiones de los escalones de reactiva
- Programación de parámetros mediante software
- Funcionamiento local con tres consignas de coseno de fi.
- Control remoto del factor de potencia y estado de baterías en tiempo real

### Ventajas EPCOS

- Admisibles tiempos de conexión, desconexión y descarga de baterías muy bajos (1 s).
- Visualización del THD
- Evolución del factor de potencia más lineal
- Control remoto del factor de potencia y estado de baterías en tiempo real (según manual, pendiente de ensayo)

### Ventajas CIRCUTOR

- Funcionamiento local con tres consignas de coseno de fi

*Por todo lo expuesto y atendiendo a los aspectos considerados en este informe, los redactores del mismo consideran que el regulador de potencia reactiva más adecuado para el proyecto "Implantación de Estrategias de Control del Factor de Potencia en el Parque Eólico Experimental de Sotavento" es el **LOVATO DCRJ12**.*