

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

Evaluación del comportamiento del regulador central

Datos: 24/03/2007 – 26/03/2007

(REVISADO 25/04/2007)

Peticionario: Antonio Dorado Díaz
Sotavento Eólica
986 541519

Camilo José Carrillo González
Eloy Díaz Dorado

Vigo, 25 de abril de 2007



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



1. Introducción

Este informe es una actualización de uno anterior de igual título, teniéndose en cuenta los comentarios realizados por ENGASOFT en cuanto a la interpretación de resultados y tratamiento de variables.

En este informe se evalúan la información enviada por ENGASOFT acerca de la programación del regulador central a nivel de parque implantado en el Parque Eólico Experimental. A la fecha de la emisión de este informe, el regulador central está funcionando en modo de prueba, por lo que las consignas que genera sólo se almacenan en un fichero y, en consecuencia, no se envían a los reguladores.

Los datos enviados por Engasoft son:

- Descripción del comportamiento del regulador central
- Criterio de signo para el FP
- Estructura de datos de SubAT y Aero
- Ficheros de configuración
- Registros con una periodicidad de 30 s correspondientes al comportamiento del regulador durante los días 24, 25 y 26 de marzo de 200

2. Análisis de los Registros

Los datos correspondientes a los días 24, 25 y 26 de marzo de 2007 tienen muchos períodos donde el parque ha estado prácticamente sin generación. Para el análisis mostrado a continuación se ha seleccionado el período donde el parque ha estado en funcionamiento de forma continua.

La configuración en columnas de los ficheros de registros es la mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1: Configuración el columnas de los ficheros de registro

AEROGENERADORES	SUBAT
01: DIA	01: DIA
02: MES	02: MES
03: AÑO	03: AÑO
04: HORA	04: HORA
05: MIN	05: MIN
06: SEG	06: SEG
07: Nº aero	07: P
08: Regula	08: Qcomp
09: AlarmaExt	09-20: EstBat
10: P	21-32: EstBatObj
11: Qcomp	33: Qc
12: Pu	34: FPact
13-24: EstBat	35: QTesp
25: Qc	36: Etiqueta Analizador
26: FPobj	37: Etiqueta Regulador
27: FPact	38: Nº Datos analizador
28: Et. analizador	39: Nº Datos regulador
29: Et. regulador	40: Pfact
30: Participa	41: Qfact
31: vQcombF	42: FPfact
32: Nº datos Analizador	43: Bonificacion
33: Nº datos Regulador	

Las potencias activa (P en MW) y reactivas (Qcomp en MVAR) registradas en la subestación pueden verse en la Ilustración 1.

A continuación se van analizar los distintos resultados obtenidos de los ficheros registro.

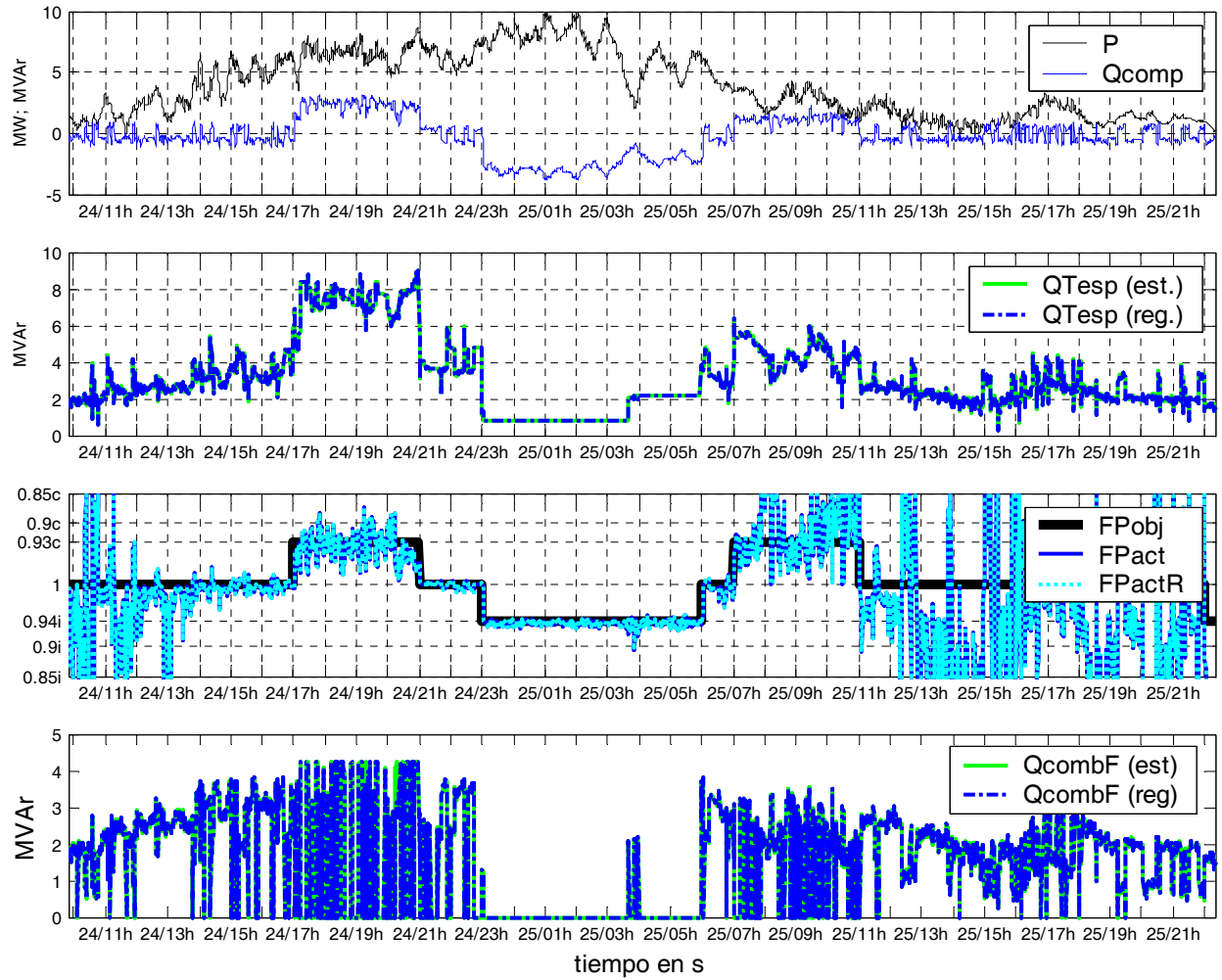


Ilustración 1: Variables registradas

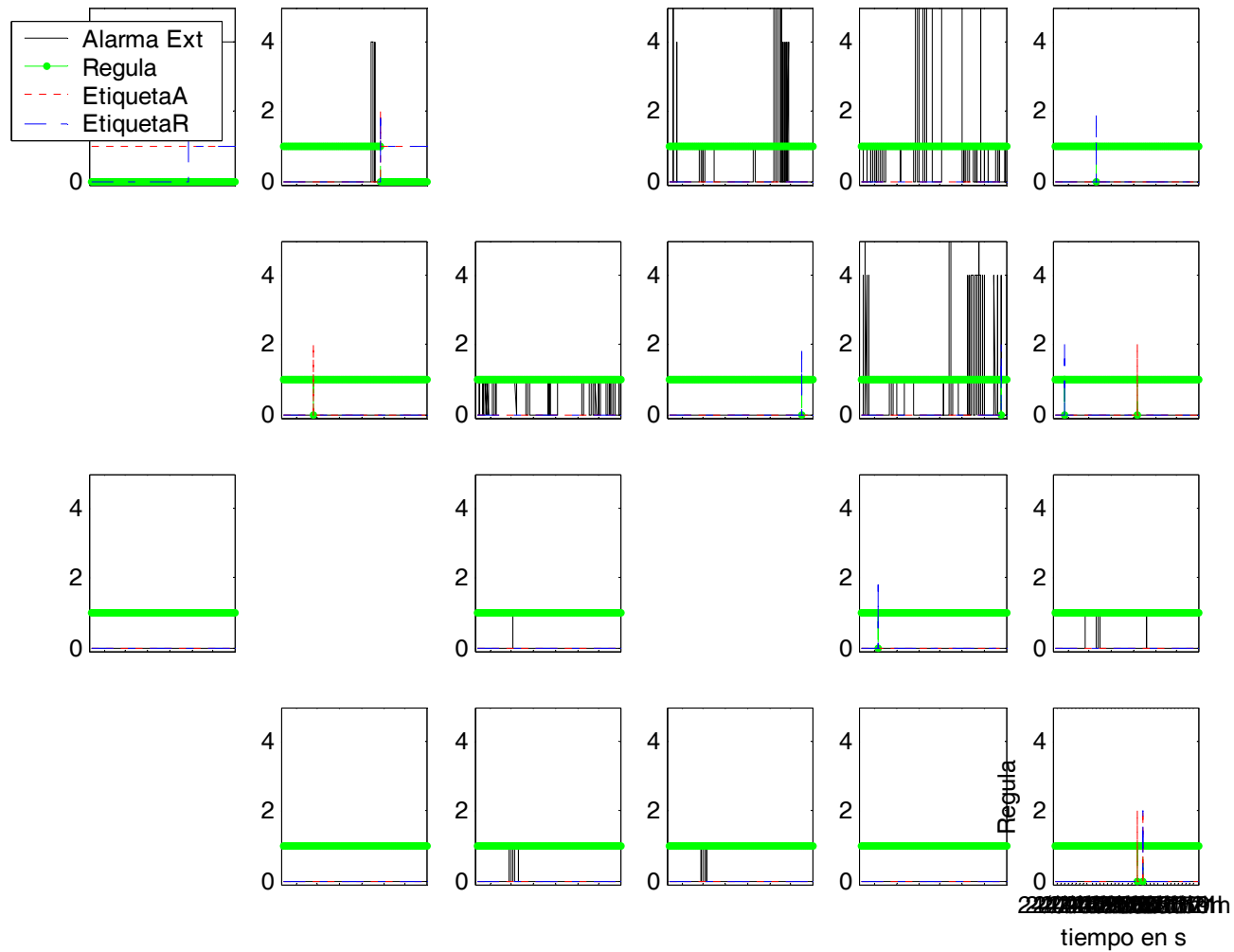


Ilustración 2: Evolución de la variable Regula y AlarmaExt

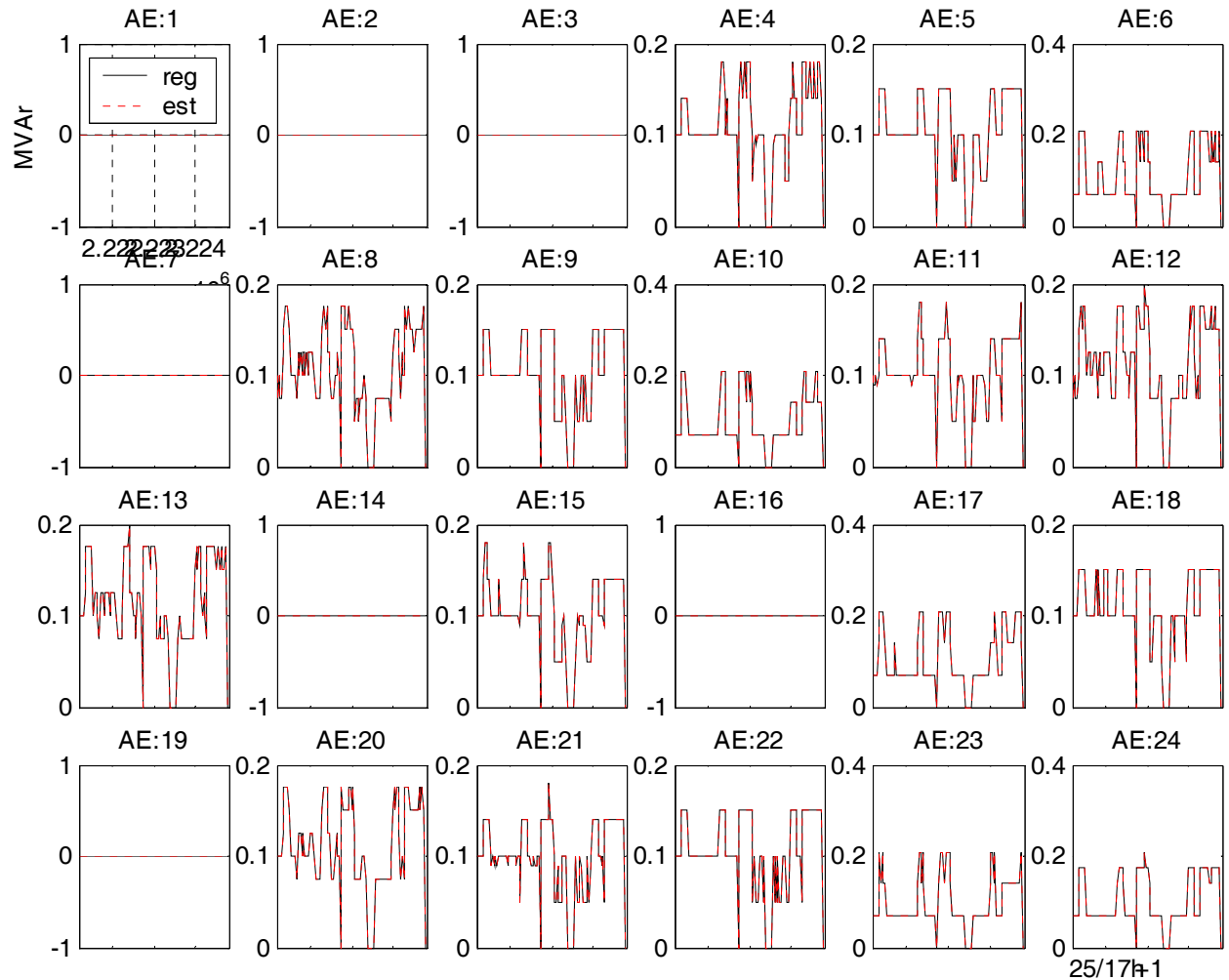


Ilustración 3: Evolución de la variable $aero.vQ_{combF}$

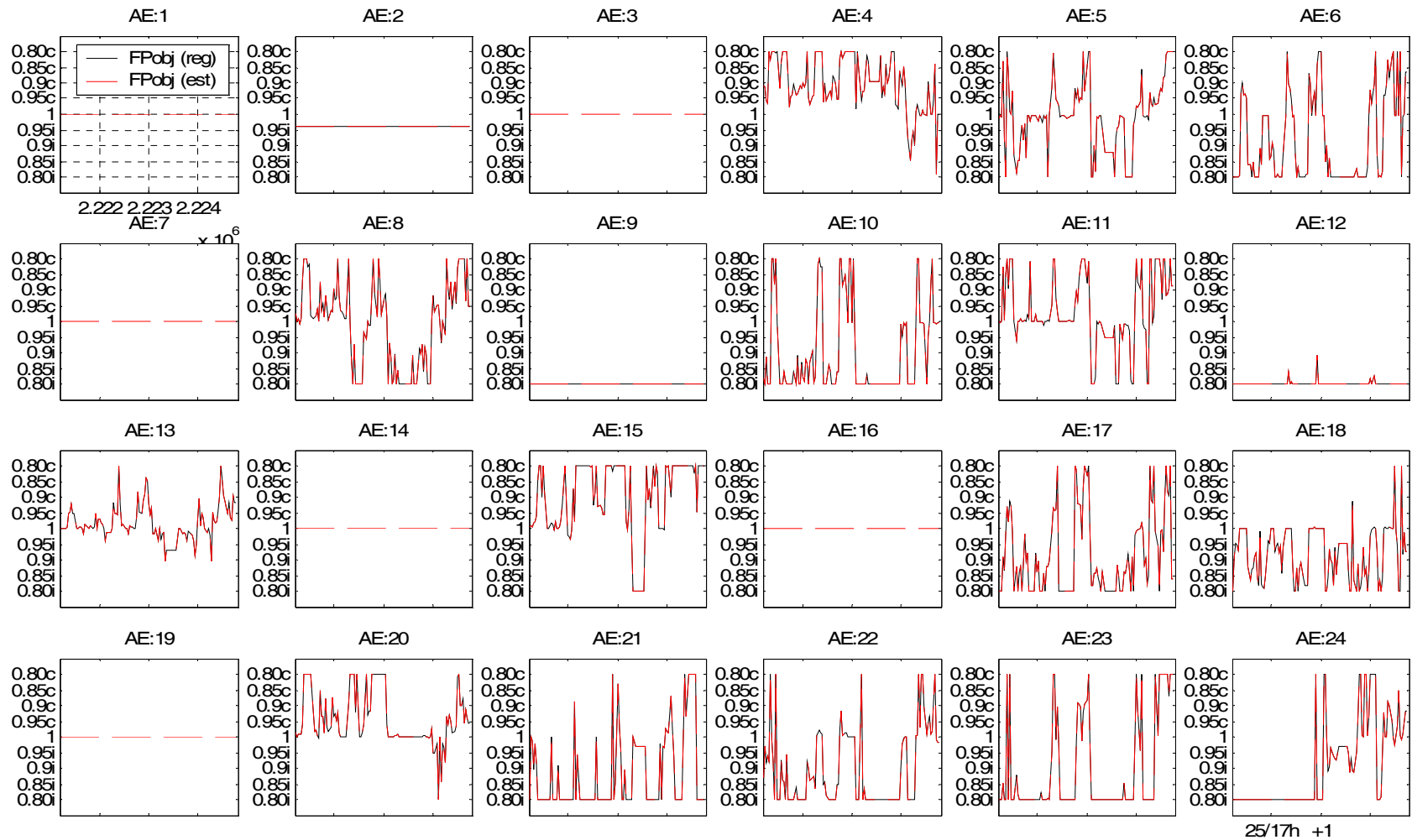


Ilustración 4: Evolución de la variable aero.FPobj

2.1. Variable *aero.Regula* y *aero.AlarmaExt*

La variable **Regula** define la participación o no de un aerogenerador en la regulación centralizada de reactiva. Su valor está vinculado a la variable **AlarmaExt**. **Su comportamiento, tal y como lo ha descrito ENGASOFT es:**

1- Variables *aero.Regula* e *aero.AlarmaExt*:

Como xa vos comentamos nos informes anteriores, a variable *Regula* non depende exclusivamente de *AlarmaExt*. O comportamento é o seguinte:

- Se o aerogenerador non participa na regulación *Regula* vale 0.
- Se o bit nº 12 de *AlarmaExt* do regulador vale 1 *Regula* vale 0.
- Se *Etiqueta_analizador* e distinto de cero *Regula* vale 0.
- Se *Etiqueta_regulador* e distinto de cero *Regula* vale 0.
- En calquer outro caso *Regula* vale 1.

Estivemos examinando o caso que nos comentades de que *Regula* pasa a valer 0 sen que *AlarmaExt* varíe e comprobamos que neses casos **ou ben *Etiqueta_analizador* era distinto de 0 ou ben *Etiqueta_regulador* era distinto de 0**. De todas formas verificade o valor de *Regula* con todas as premisas anteriores e comentádenos algo o respecto.

Lo cual concuerda con lo mostrado en Ilustración 2.

AlarmaExt

Lo se había indicado en el informe: "Descripción del algoritmo de control. Modificaciones código y ejemplo" (7 de diciembre de 2006) era:

El regulador LOVATO es capaz de generar unas alarmas y realizar unas acciones en función de ellas. Las alarmas del regulador LOVATO son las que se muestran en la Tabla 2 pueden tener asociadas las siguientes acciones:

- Habilitada / Deshabilitada
- Activación de un relé externo
- Desconexión de los pasos de condensadores

En un principio se había analizado la posibilidad de que la desconexión del regulador se realizase únicamente con la denominada ALARMA EXTERIOR. No obstante, después de que el personal de Sotavento haya realizado algunas pruebas, se ha visto que puede ser interesante que la desconexión de los pasos de condensadores la realicen otras alarmas como, por ejemplo, la de Sobre-compensación. Eso modifica el comportamiento previsto hasta ahora para la variable *AlarmaExt*, donde únicamente había que considerar el bit nº 11 de la posición de memoria asignada a las alarmas (dirección 16h).



Por todo lo expuesto, el comportamiento de la variable AlarmaExt es el que a continuación se describe.

Variable: AlarmaExt

Alarma que indica si se ha producida la desconexión de las baterías de condensadores debido a alguna alarma.

Variables LOVATO relacionadas:

- Dirección 16h: Bits relacionados con las alarmas del LOVATO.
- MASCARA, vector de 12 bits donde aparece un 1 en aquellas posiciones relacionadas con una alarma que provoca la desconexión de baterías. Por ejemplo, si las alarmas que provocan la desconexión de las baterías son las de sobrecompensación y la exterior, la máscara debería ser:

Bit nº	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00
Valor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Por todo ello, la variable denominada **AlarmaExt** debe valer **1** cuando sea **1** el valor cualquiera de los bits de alarma asociados con **1** en la máscara.

Tabla 2: Alarmas del regulador LOVATO y bits asociados en la posición de memoria 16h

Bit	Código Alarma	Alarma
0	A01	Baja-compensación
1	A02	Sobre-compensación
2	A03	Corriente Baja
3	A04	Corriente Alta
4	A05	Tensión Baja
5	A06	Tensión Alta
6	A07	Sobrecarga condensador
7	A08	Temperatura Elevada
8	A09	Micro Interrupción
9	A10	Fallo de un paso
10	A11	Evento Armónico
11	A.EL	Alarma Exterior ¹
12..31	-	Bits libres

2.2. Variable *subAT.QTesp*

La variable QTesp representa la potencia reactiva capacitiva que debe generar el parque en su conjunto para cumplir el objetivo de factor de potencia del parque (subAT.FPobj). En la Ilustración 1 puede verse la evolución temporal de los valores registrados (**QTesp REG**) y los obtenidos en el programa de simulación (**QTesp SIM**) a partir de los valores existentes en los registros de salida del regulador central. Para su cálculo se utiliza el código indicado a continuación:

¹ No documentado en el manual. Comportamiento obtenido por las pruebas en el laboratorio.



```
if ActuaRegulador == 1
%Calculo de la reactiva de deberan generar todos las baterias del parque
Qobj = subAT.P*tan(acos(subAT.FPobj)); (CAMBIO DE SIGNO)
DQ = Qobj - subAT.Qcomp;
subAT.QTesp = DQ + subAT.Qc;
for kae=1:NAeros
if aero(kae).Regula == 1
subAT.QTesp = subAT.QTesp + aero(kae).Qc;
end
end
```

Siendo los límites de Punta, Llano y Valle con indicados en “**Tramos horarios / tramos_inverno.cfg**”, es decir:

```
V 000000 065959 -0,94
L 070000 165959 +1,00
P 170000 205959 +0,93
L 210000 225959 +1,00
V 230000 235959 -0,94
```

Para la actuación del regulador central se establece una banda de actuación con el ancho indicado en el **fichero parametros_regulador.cfg**, es decir:

- Desvio_valle; 0.02
- Desvio_punta; 0.02
- Desvio_llano; 0.002

Tal y como se puede ver en la Ilustración 1 existe concordancia muy alta entre los valores de QTesp simulados (QTesp SIM) y registrados (QTesp REG).

La variable aero.Fpobj es la consigna enviada a cada regulador de cada aero y se calcula a partir de aero.Fpobj. En la Ilustración 4 puede verse la evolución registrada (reg.) y estimada (est.) de esta variable, siendo la concordancia entre ambas muy buena.

2.3. Variable *subAT.EstBatobj*

Una vez se conoce la reactiva capacitiva a generar en el parque (se ha utilizado el dato registrado de *QTesp*), se procede a calcular el reparto de reactiva en las baterías de condensadores de la subestación mediante la función **SeparaSubAeros**, con lo que se obtiene el estado de las baterías de la subestación **subAT.EstBatobj**.

En la Ilustración 5 se ha representado en estado objetivo simulador (EstBat SIM) y el registrado (EstBat obj) y su **grado de concordancia es muy alto**. No obstante, se ha detectado situaciones como la mostrada en la Ilustración 6, donde se puede ver que se ha registrado una desconexión y reconexión consecutiva de la Batería 1 de la subestación, **SIN tener en cuenta los TIEMPOS DE DESCARGA DE LAS BATERÍAS**. Es necesario revisar si dichos tiempos de descarga se aplican correctamente, ya que en las simulaciones no se ha detectado ninguna situación similar.

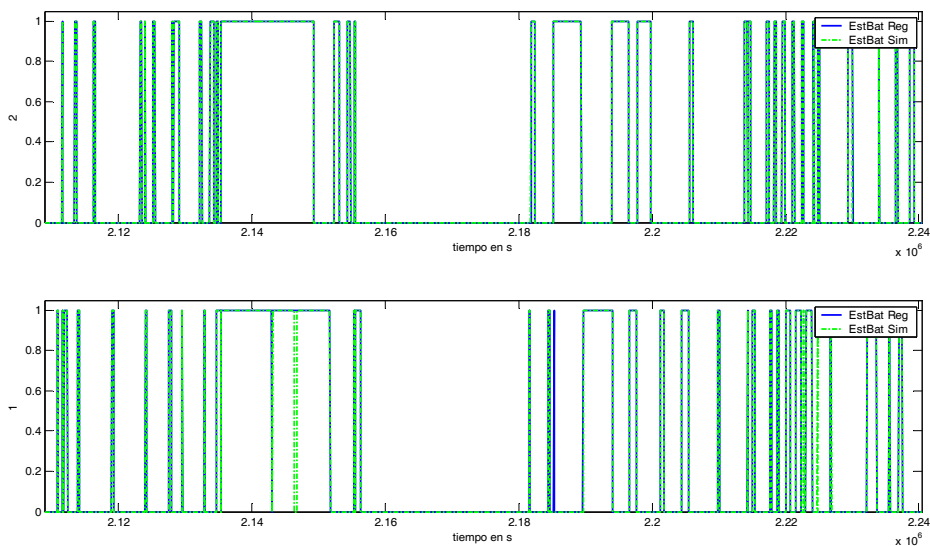


Ilustración 5: Evolución del estado de baterías objetivo de subestación registrado (EstBat REG) y simulado (EstBat REG).

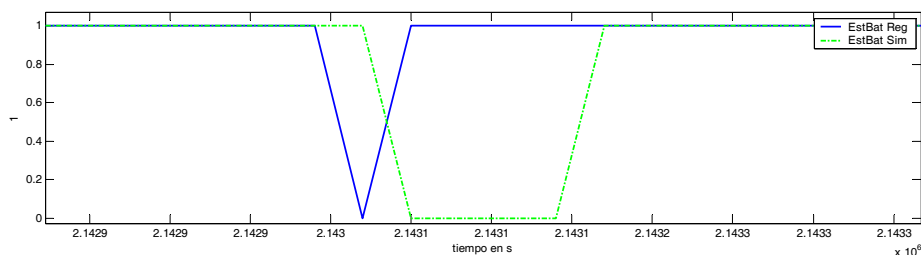


Ilustración 6: Ampliación de la evolución del estado de baterías objetivo de subestación registrado (EstBat REG) y simulado (EstBat REG).



2.4. Variable *aero.vQcombF*

La variable *aero.vQcombF* representa el reparto de la reactiva a generar en cada *aero*. Su valor es el que se necesita para calcular la consigna a enviar a cada uno de los aerogeneradores. Los resultados obtenidos pueden verse en la Ilustración 1, donde:

- *QcombF (reg)* representa la suma de la potencia a repartir entre todos los *aeros* calculada a partir de los valores *aero.vQombF registrados*.
- *QcombF (est)* representa la suma de la potencia a repartir entre todos los *aeros* calculada a partir de los valores *aero.vQombF estimados*.

Un resultado más detallado puede verse en la Ilustración 3, donde se han representado los valores registrados (*reg.*) y estimados (*est.*) de *aero.QcombF*.

El cálculo se ha realizado utilizando las variables registradas con el fin de poder validar el proceso de cálculo para la obtención de este valor, sin tener en cuenta los errores detectados en los pasos anteriores.

La conclusión más relevante es que los datos registrados y simulados coinciden de forma aceptable. Las diferencias entre ambos se deben básicamente a diferencia de criterios entre cuando debe o no actuar el regulador central. Esto puede deberse a lo indicado en los párrafos anteriores referentes al FP objetivo en cada tramo horario y los límites para la actuación o no del regulador central.

*NOTA: En los registros la NO ACTUACIÓN del regulador central significaba que la variable *aero.vQcombF* tomaba valores negativos, no obstante, para su representación los valores negativos se ha puesto a cero.*



3. Ficheros de configuración

En los ficheros de configuración deberían incluirse las constantes:

- FUNCION SEPARASUBAEROS: *pminhist* y *pmaxhist*
- FUNCION VectorAcuBaterias: *mcm* y *kxo*

Sería interesante una utilidad, puede ser offline, que se encargue de consultar a los LOVATO para comprobar el fichero de **potencia_baterias.cfg** y **numero_baterias.cfg**, ya que las baterías en uso en cada aero pueden variar (averías, ampliación,...). De todos modos, la configuración de baterías que se prevé instalar en el parque es la indicada en la siguiente tabla.

Tabla 3: Previsión de potencia reactiva capacitiva en el parque

TORRES	Aerogenerador	Pot. Reactiva Instalada (kVAr)	PASOS REACTIVA (Q MVAr)											
1	Izar-Bonus 1.3 Mw	350,0	0,0875	0,0750	0,0750	0,0750	0,0375							
6 10 17 23	Made AE - 46	280,0	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700								
12	Neg Micon NM 900	550,0	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
2 8 13 20	Neg Micon NM-750	450,0	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,050	0,050	0,050	0,050			
4 11 15 21	Ecotecnia 44 - 640	480,0	0,0750	0,0750	0,0750	0,0750	0,0500	0,050	0,040	0,040				
5 9 18 22	Izar-Bonus MK - IV	175,0	0,0750	0,0500	0,0500									
24	Made AE - 61	665,0	0,1400	0,1400	0,1400	0,1400	0,0700	0,035						
0	Subestacion	4860,0	2,4300	2,4300										



4. Conclusiones

- **Los valores de consigna de FP de los aeros son los esperados.**
- Se han detectado situaciones en la que parece no utilizarse bien el tiempo de descarga de las baterías de la subestación.
- Se propone la modificación del tratamiento de la variable AlarmaExt, para que tenga en cuenta todas aquellas alarmas que provoquen la desconexión de las baterías de un aerogenerador.
- Se propone leer del regulador LOVATO el número de operaciones de los pasos (para la siguiente versión del regulador central).
- Se proponen modificaciones en los ficheros de configuración. Los FP objetivo deberían estar entorno a 0.9 para que los límites de actuación del regulador (0,02, 0,02 y 0,002) sean válidos.
- Se propone el desarrollo de una herramienta off-line que permita leer desde el regulador LOVATO cual es la configuración de sus baterías.