

## BENCHMARK CEA-IFAC 2009-10

### 1. Introducción.

Este documento explica brevemente la propuesta de control del alumno del Máster en Automática, Robótica y Telemática de la Universidad de Sevilla, Manuel Garrido Satué, para el concurso de diseño de controladores, Benchmark CEA-IFAC 2009-10, Control de una caldera.

### 2. Metodología de diseño.

#### 2.1 Identificación.

Haciendo uso de la información proporcionada en el documento '*Control de una caldera*', la cuál permite eliminar algunas dependencias entre entradas y salidas, se ha procedido al modelado de la caldera en el entorno del punto de funcionamiento mediante el método de la respuesta a escalón en bucle abierto. En la siguiente ecuación matricial de funciones de transferencia entre entradas y salidas, la variable ' $u_4$ ' es la demanda de vapor, y el resto son las mismas que en el documento mencionado. Se ha despreciado además la interacción entre la entrada ' $u_3$ ' y la salida ' $y_1$ '.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & 0 & 0 & g_{14}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) & 0 & 0 \\ g_{31}(s) & 0 & g_{33}(s) & g_{34}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix}$$

Se han aproximado funciones de transferencia de primer orden y un integrador ( $g_{33}(s)$ ). Los resultados de la identificación se muestran en la tabla 1.

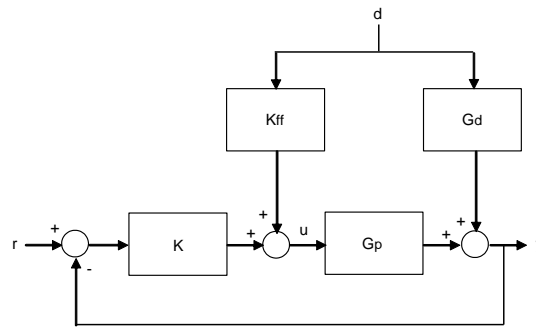
<i>F. Transferencia</i>	<i>Kestática</i>	<i>Tau (s)</i>	<i>Retraso (s)</i>
$g_{11}(s)$	0.3184	25.8	5
$g_{14}(s)$	-0.7244	240.4	13
$g_{21}(s)$	-6.2865	5.0	6.2
$g_{22}(s)$	5.8346	6.8	6.2
$g_{31}(s)$	-0.0051	18.0	3.5
$g_{33}(s)$	0.0107	-	7
$g_{34}(s)$	-0.001465	15	3

**Tabla 1:** identificación.

En el apartado 3 se muestran las gráficas que comparan el sistema real con el modelado con estas funciones de transferencia.

## 2.2 Diseño del controlador.

Para mitigar el efecto de la demanda variable, que es una perturbación medible, se ha utilizado un esquema de control de prealimentación, o feedforward, con feedback. Se han ajustado tres controladores de prealimentación, uno para cada lazo de control descentralizado. El esquema para cada uno de los lazos es el mostrado en la figura 1, donde  $K_{ff}$  es el controlador de prealimentación y  $K$  es un controlador PI. La función que implementa el PI es diferente a la propuesta en este benchmark.



**Figura 1:** esquema de control feedback más feedforward.

El ajuste de los PI's utilizados es el que se muestra en la tabla 2:

<i>PI</i>	$K_p$	$T_i$
11: combustible – P.vapor	3.8	25
22: aire – exceso $O_2$	0.19	10
33: agua alim. – nivel agua	4.8	20

**Tabla 2:** ajuste de los PI's.

Para atenuar el efecto del ruido de los sensores de medida, se ha incluido en cada PI un filtro de ruido no lineal (consiste en una zona muerta seguida por un filtro de primer orden). La zona muerta, a grandes rasgos, actúa de la siguiente manera: si el valor incremental de la señal supera el ancho de la zona muerta, el valor no se altera, mientras que en caso contrario, se considera que la señal permanece constante (no hay incremento).

El ancho de la zona muerta es distinto para cada señal de salida, mientras que el filtro de primer orden tiene los mismos coeficientes para todas las señales.

<i>Señal</i>	<i>Ancho zona muerta</i>
$\Delta y_1$	0.09
$\Delta y_2$	0.49
$\Delta y_3$	0.09

**Tabla 3:** ajuste zona muerta.

$$G_{\text{filtro}}(s) = \frac{0.8z^{-1}}{1-0.2z^{-1}}$$

El término integral del PI se calcula con la señal original para asegurar error en régimen permanente nulo.

Los prealimentadores tienen las siguientes funciones de transferencia:

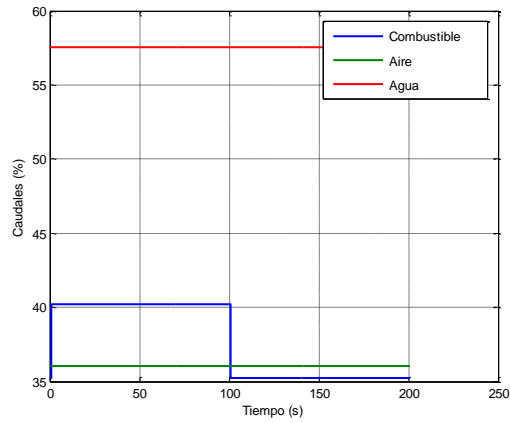
$$K_{ff14} = -K_{p14} \frac{g_{14}(s)}{g_{11}(s)}$$

$$K_{ff24} = -K_{p24} \frac{g_{14}(s)g_{21}(s)}{g_{11}(s)g_{22}(s)}$$

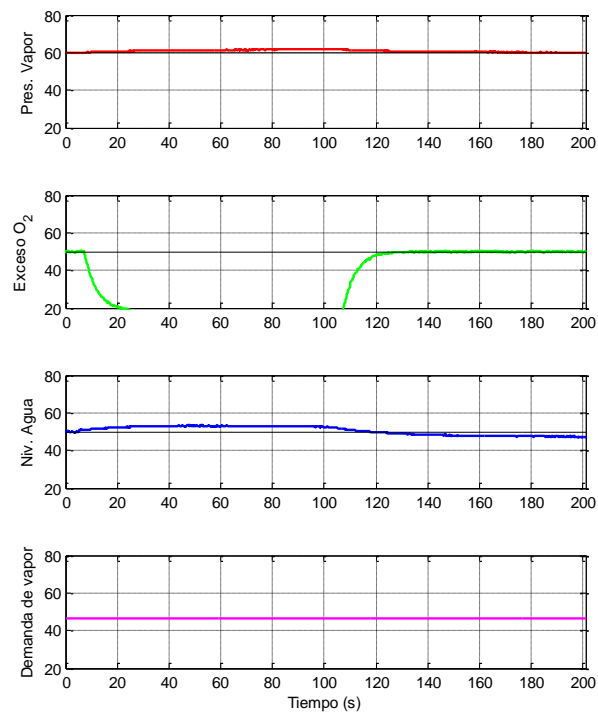
$$K_{ff34} = -K_{p34} \frac{g_{34}(s)}{g_{33}(s)}$$

Donde  $K_{p14} = 1.05$ ,  $K_{p24} = 1.1$  y  $K_{p34} = 1$ .

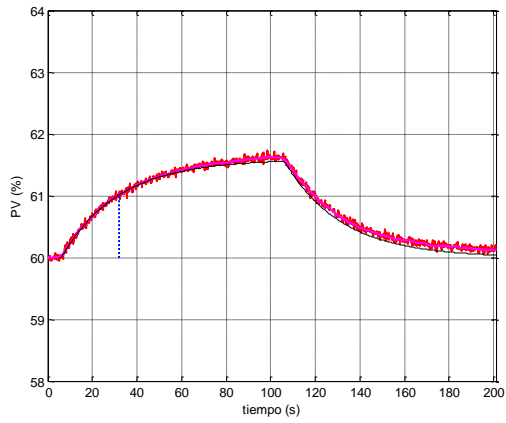
### 3. Identificación de la planta. Gráficas.



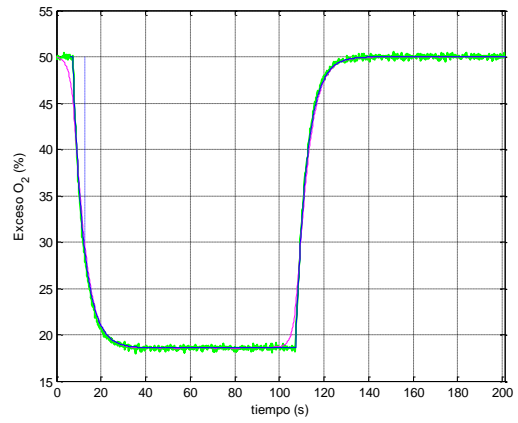
**Figura 2:** caudales de entrada para identificar  $g_{11}$ ,  $g_{21}$  y  $g_{31}$ .



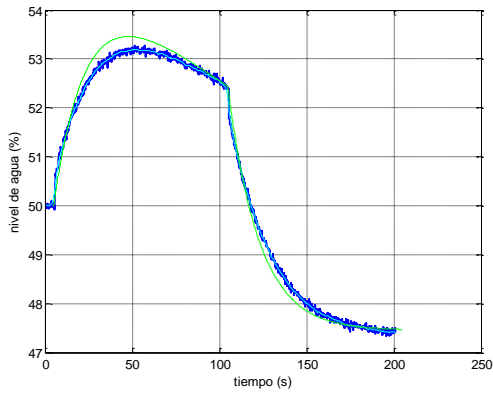
**Figura 3:** salidas del sistema asociadas a los caudales de entrada y demanda.



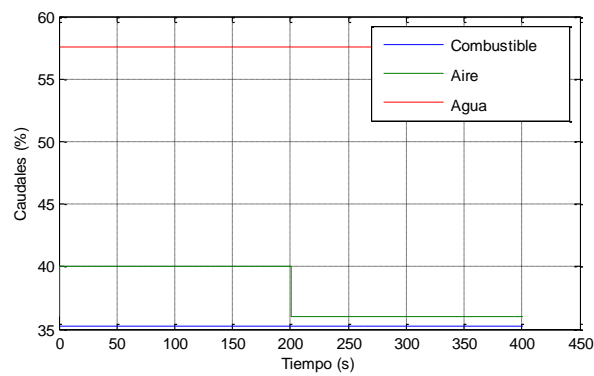
**Figura 4:** comprobación del modelo para  $g_{11}(s)$ .



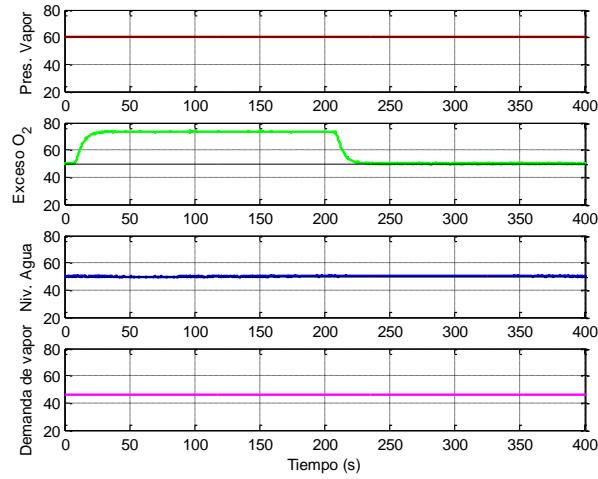
**Figura 5:** comprobación del modelo para  $g_{21}(s)$ .



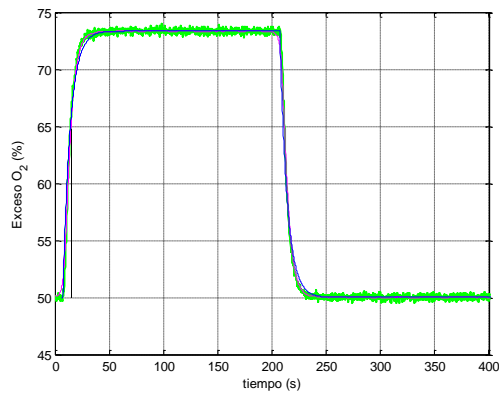
**Figura 6:** comprobación del modelo para  $g_{31}(s)$ .



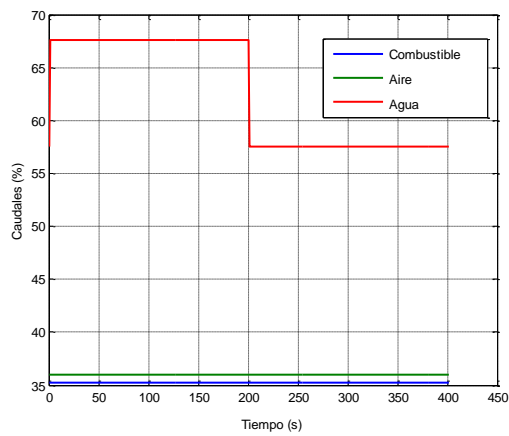
**Figura 7:** caudales de entrada para identificar  $g_{22}(s)$ .



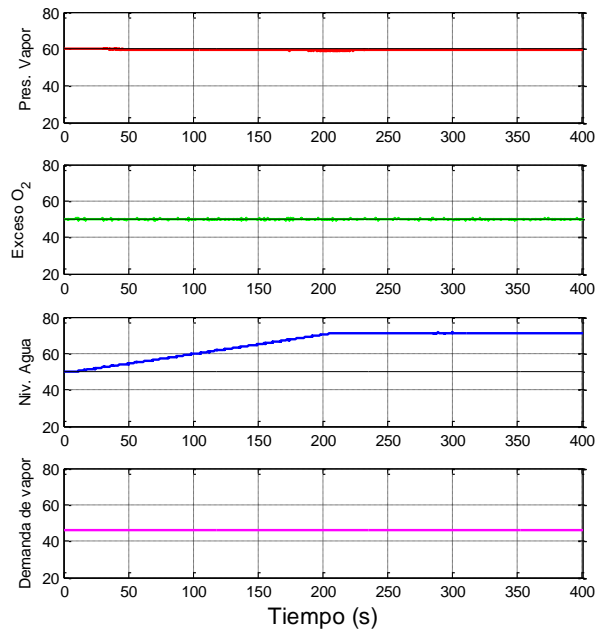
**Figura 8:** salidas del sistema asociadas a los caudales de entrada y demanda.



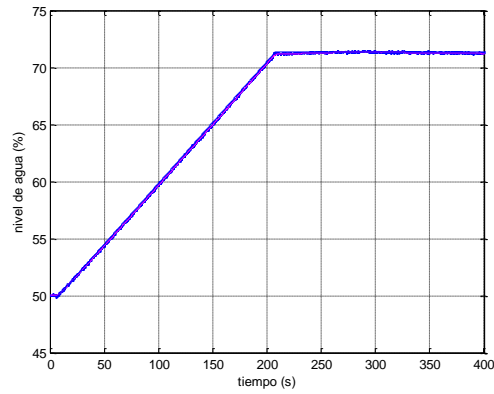
**Figura 9:** comprobación del modelo para  $g_{22}(s)$ .



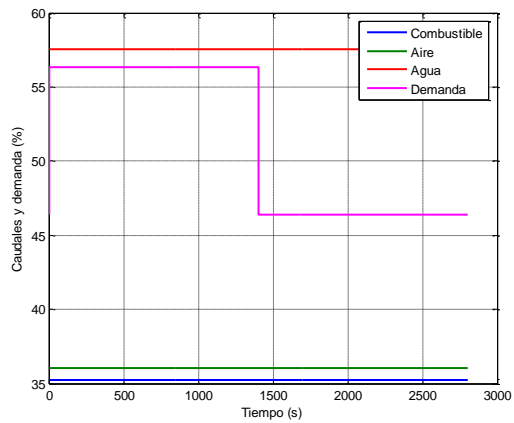
**Figura 10:** caudales de entrada para identificar  $g_{13}??$ ,  $g_{33}$ .



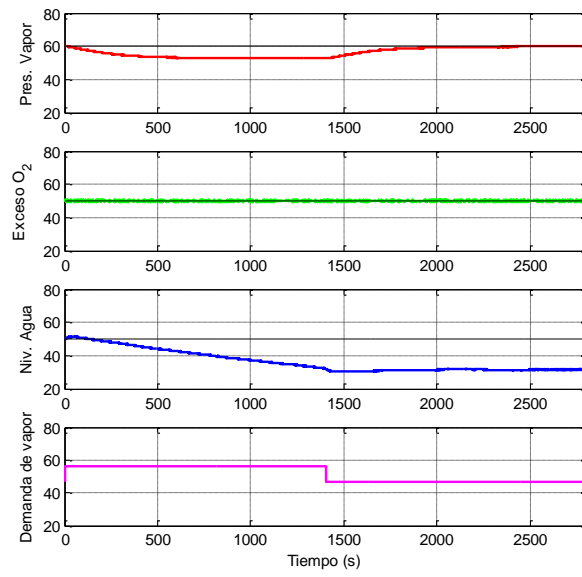
**Figura 11:** salidas del sistema asociadas a los caudales de entrada y demanda.



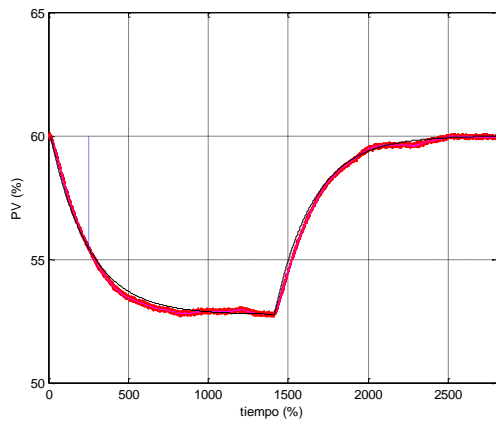
**Figura 12:** comprobación del modelo para  $g_{33}(s)$ .



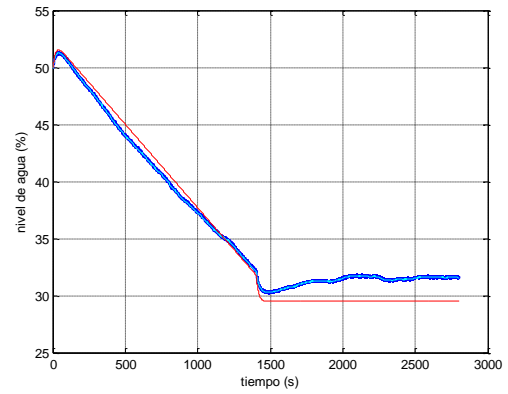
**Figura 13:** caudales para identificar  $g_{14}(s)$  y  $g_{34}(s)$ .



**Figura 14:** salidas del sistema asociadas a los caudales de entrada y demanda.



**Figura 15:** comprobación del modelo para  $g_{14}(s)$ .



**Figura 16:** comprobación del modelo para  $g_{34}(s)$ .