

## 6 ESTIMADOR DE RADIACIÓN

Uno de los problemas al usar el FeedForward como elemento anticipativo de las perturbaciones es la radiación. Una de las ventajas de usar el FeedForward era precisamente el elemento anticipativo ante bajadas de radiación en los transitorios. El problema surge cuando la medida de radiación pueda no ser fiable. En este caso el FeedForward daría consignas de caudal que no tendrían sentido. Esto puede ocurrir cuando un pirheliómetro de una medida errónea de radiación.

En general en las plantas solares no hay instalados muchos pirheliómetros. Los pirheliómetros son dispositivos caros y muy sensibles. Además la medida de la radiación solar directa es puntual, y el campo solar es bastante extenso. Mientras que un sensor de temperatura es difícil que falle o que algo a su alrededor afecte a la medida, esto si puede suceder con los pirheliómetros. Estos dispositivos se suelen instalar en lo alto de una torre junto con una estación seguidora de sol y otros dispositivos de medidas ambientales. Puede ocurrir que un ave se pose en el pirheliómetro anulando la medida de radiación, o que algo de polvo o basura obstruya el dispositivo, o incluso deje de funcionar. En estos casos esa medida errónea producirá un control incorrecto de la planta y se pueden llegar a dar situaciones de peligro.

En la siguiente figura se muestra la simulación de un día claro con alta radiación y donde la medida del pirheliómetro es correcta. Se utiliza el GPC-GS.

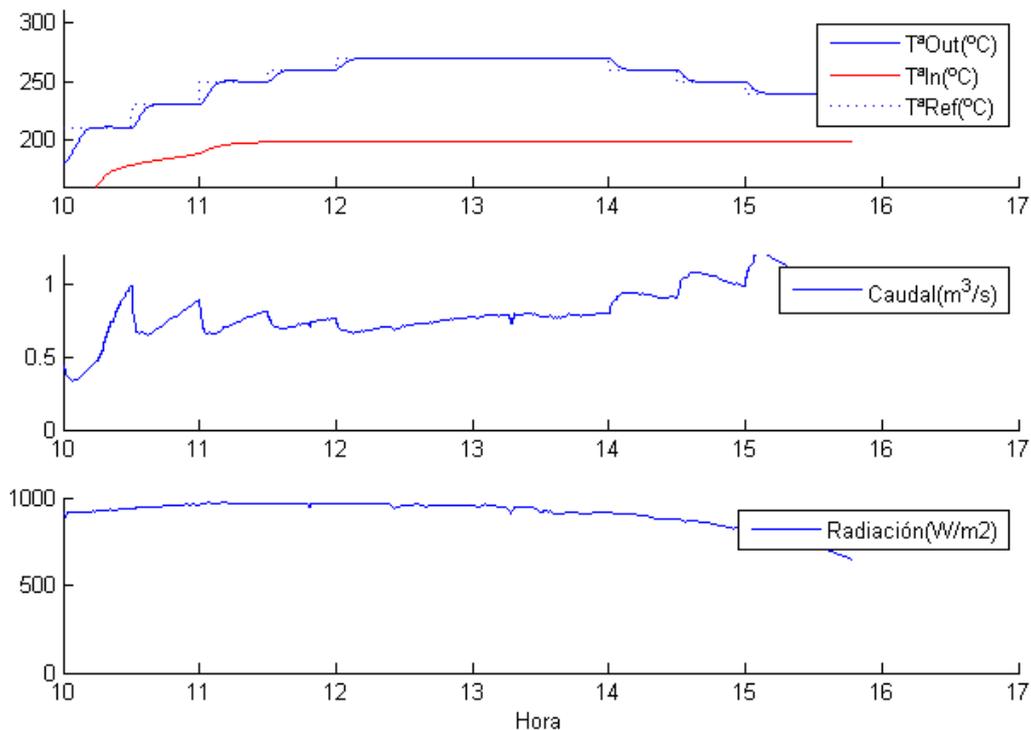


Figura 6.1: Simulación con GPC-GS sin errores en la lectura del pirheliómetro.

Como se puede observar si la radiación que se utiliza para realizar los cálculos es correcta el controlador funciona como se espera, controlando bien la temperatura. Sin embargo si el pirheliómetro da una mala medida de radiación se observarán situaciones que provocarán

oscilaciones en el control de la temperatura pues lo que se está midiendo y con lo que se está controlando (FeedForward, simulación del NMPC etc) no se corresponde con la realidad del campo solar. A continuación las figs 6.2 y 6.3, muestran un claro ejemplo.

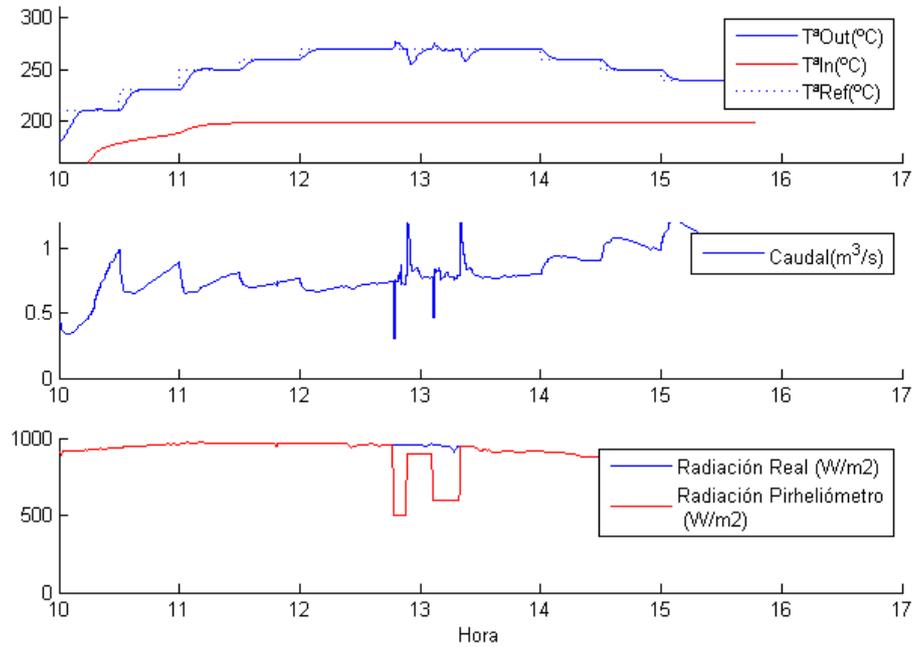


Figura 6.2: Simulación con GPC-GS con errores en la lectura del pirheliómetro.

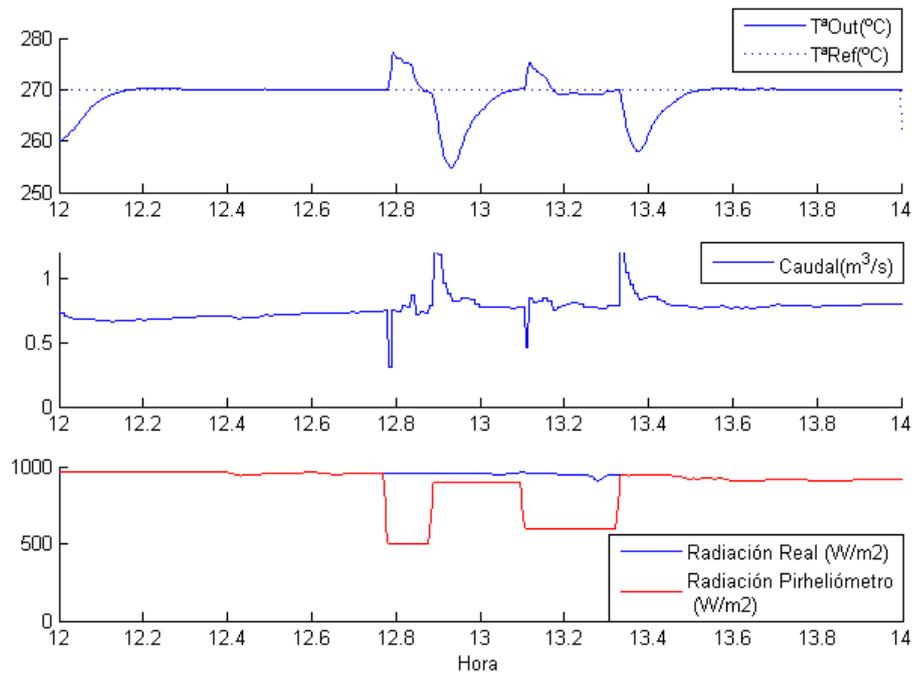


Figura 6.3: Zoom zona del error en la lectura del pirheliómetro.

Como se puede observar se producen grandes oscilaciones de la temperatura en las zonas donde la medida de la radiación fue errónea.

Una opción ante posibles fallos o malas medidas del pirheliómetro es el uso de un estimador de radiación según las temperaturas del lazo y el caudal. El estimador de radiación se puede obtener a partir del modelo de parámetros concentrados, aunque al igual que el FeedForward, será más en regimen permanente. De la ecuación del modelo de parámetros concentrados:

$$C \frac{dT}{dt} = n_0 S I - \dot{q} P c_p (T - T_{in}) - Hl(T_m - T_a) \quad (6.1)$$

Se puede obtener facilmente la Irradiación como:

$$I = \frac{C \frac{dT}{dt} - \dot{q} P c_p (T - T_{in}) - Hl(T_m - T_a)}{n_0 S} \quad (6.2)$$

El algoritmo para el estimador de radiación se computará cada 39 segundos y estará filtrado, dado que no se pretende sustituir completamente al pirheliómetro, sino detectar posibles medidas erróneas y aplicar en esos momentos las medidas estimadas.

- Cada 39 segundos, instante k:
  1. Se toma la T<sup>a</sup> de entrada, T<sup>a</sup> de salida y el caudal.
  2. Se computan los parámetros dependientes de la temperatura.
  3. Se obtiene una radiación estimada por (6.2).
  4. Se filtra la radiación obtenida con la obtenida en k-1.
  5. La radiación estimada en k será la obtenida en el paso (4).

A continuación se muestra una simulación de la radiación estimada por este algoritmo simple para un día claro de alta radiación.

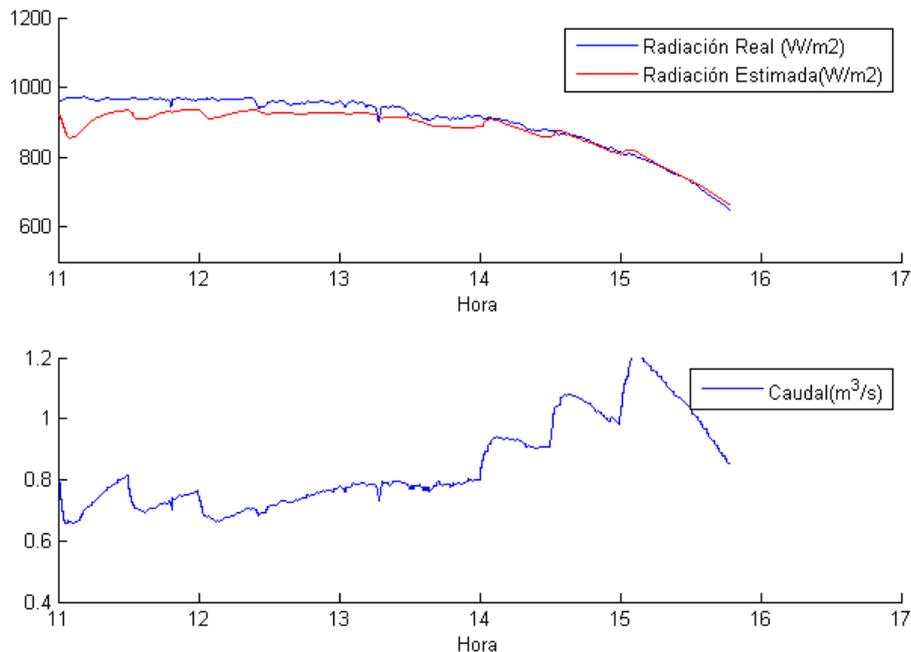


Figura 6.4: Estimación de la radiación a partir del modelo de parámetros concentrados.

El resultado de la estimación es bastante bueno aunque se observa que varía mucho cuando el caudal lo hace. Esto es debido a que al igual que el FeedForward, no se compensa el retardo y el cálculo es para el permanente.

De esta forma cuando se aplican cambios de referencia de temperatura y el controlador sube o baja caudal para llegar a la referencia, al calcular la radiación con el modelo de parámetros concentrados se observa que inicialmente la temperatura no sube o baja demasiado mientras que el caudal si lo hace y por eso se parece mucho a la evolución del caudal durante el transitorio de control.

Lo que se hace a continuación es un filtrado del caudal cuando se aplican cambios de referencia para minimizar este efecto:

- Si ha habido un cambio de referencia.
  1. Un contador se inicia a 10.
- Cada 39 segundos, instante k:
  1. Se toma la  $T^a$  de entrada,  $T^a$  de salida y el caudal.
    - (a) Si el contador es mayor a 10
      - i. Filtrado del caudal en k con el caudal en k-1.
      - ii. Decrementar contador.
    - (b) Sino caudal = caudal en k-1.
  2. Se computan los parámetros dependientes de la temperatura.
  3. Se obtiene una radiación estimada por (6.2). (Con el caudal filtrado)
  4. Se filtra la radiación obtenida con la obtenida en k-1.
  5. La radiación estimada en k será la obtenida en el paso (4).

Lo que se hace con este algoritmo modificado es filtrar durante las zonas de transitorio en los cambios de referencia evitando falsear la estimación de radiación. A continuación las figs 6.5, 6.6 y 6.7 muestran el resultado de esta modificación para alta y baja radiación.

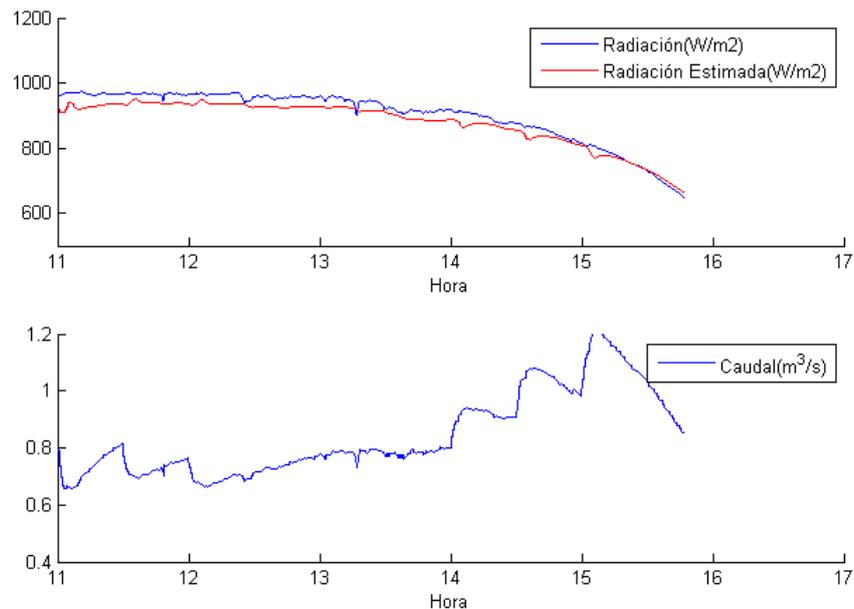


Figura 6.5: Estimación de la radiación en un día de alta radiación.

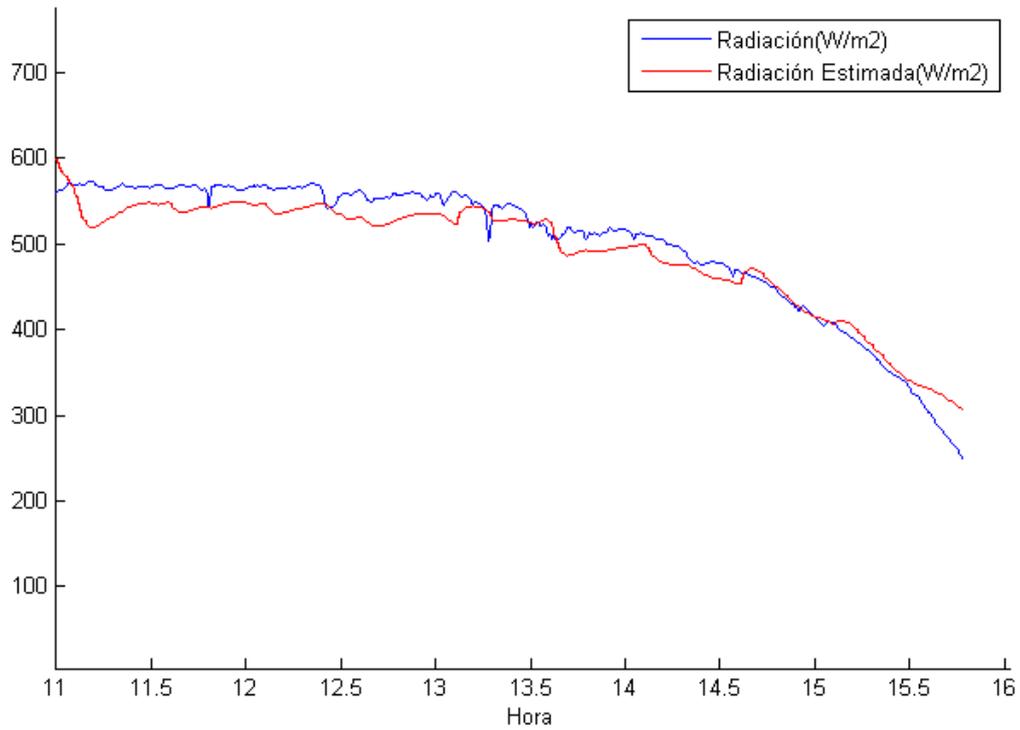


Figura 6.6: Estimación de la radiación en un día de baja radiación.

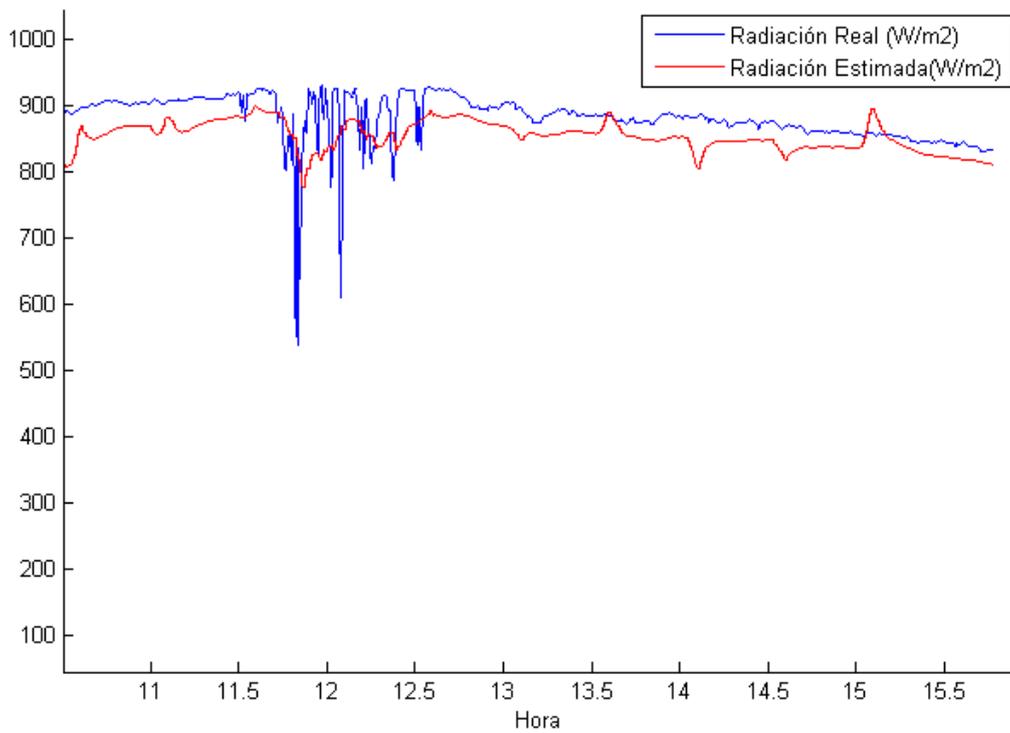


Figura 6.7: Estimación de la radiación en un día claro con un transitorio temporal.

Una vez que se tiene el estimador de radiación hay que aplicarlo cuando se crea que el pirheliómetro haya dado una medida incorrecta. El problema radica en que no se puede saber a ciencia cierta si el pirheliómetro ha dado una medida mala o buena. La decisión se hará en base a unas reglas heurísticas basadas en el conocimiento general acerca de la nubosidad y condiciones ambientales. El algoritmo de decisión se basa en que una nube no es algo totalmente opaco ni aparece de repente. Es decir, la radiación medida debe ser algo relativamente continuo, está muestrada. Una medida de radiación se considerará errónea cuando pase de un valor a otro valor muy diferente entre instantes de tiempo consecutivos. En vez de comprobar si el pirheliómetro ha dado una medida muy diferente con respecto a la anterior, se comprobará si la medida difiere mucho de la radiación estimada. Como se puede comprobar en las figuras de las simulaciones realizadas puede existir una diferencia de hasta 100 entre la estimada y la medida por lo que el límite para la decisión deberá ser mayor para evitar entrar y salir en el algoritmo consecutivamente.

El algoritmo de decisión será el siguiente:

- Si la diferencia entre Irradiación medida y Estimada está entre -200 y -500 (Error de medida hacia abajo)
  - Se aplica un filtrado entre la Irradiación medida y la estimada en k-1.
- Si la diferencia entre Irradiación medida y Estimada es inferior a -500
  - Se toma la radiación estimada como la actual en el campo solar.

Aunque es una heurística sencilla ha dado buenos resultados en simulación. Con el filtrado y la histéresis que se aplica se evita que se desprecien los transitorios reales. A continuación se muestra la simulación del control aplicando el estimado y sin aplicarlo al ejemplo del comienzo de esta sección.

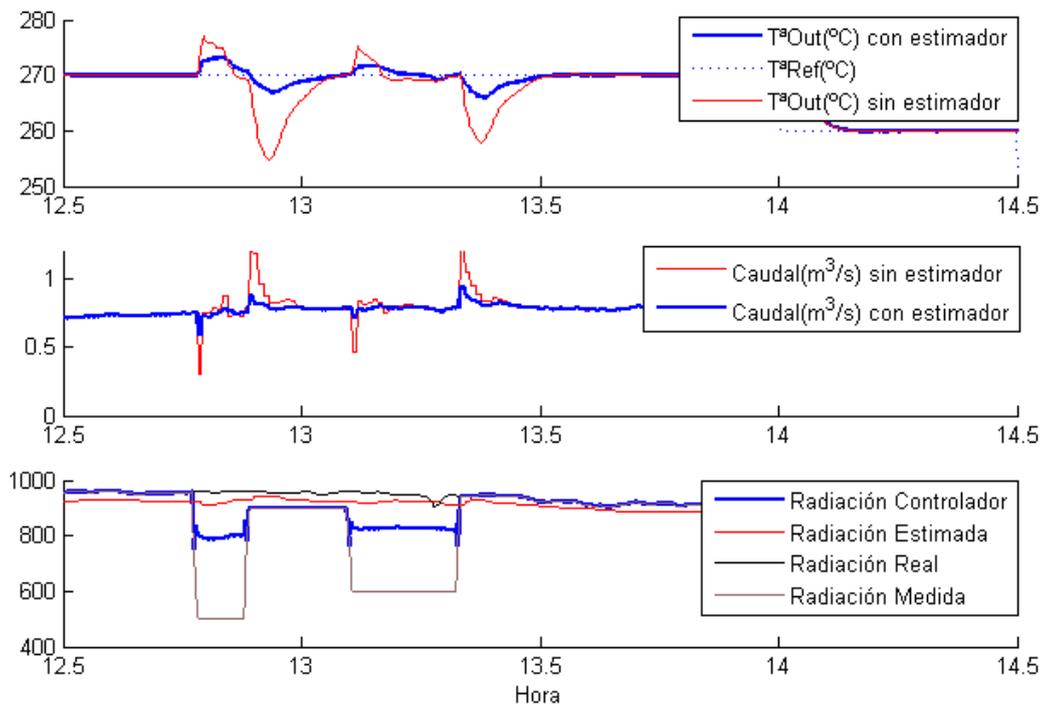


Figura 6.8: Comportamiento del GPC-GS con y sin estimador de radiación y error de medida.

Como se puede comprobar el resultado de aplicar el estimador de radiación ponderado evita que el controlador de unos cambios de consigna excesivamente erróneos y mejora considerablemente el comportamiento del conjunto ante errores de medida de radiación.

En la siguiente simulación, fig 6.8, se muestra como el estimador y la heurística de decisión evitan que se desprecien los transitorios, proporcionando un control aproximadamente igual que sin usar el estimador de radiación.

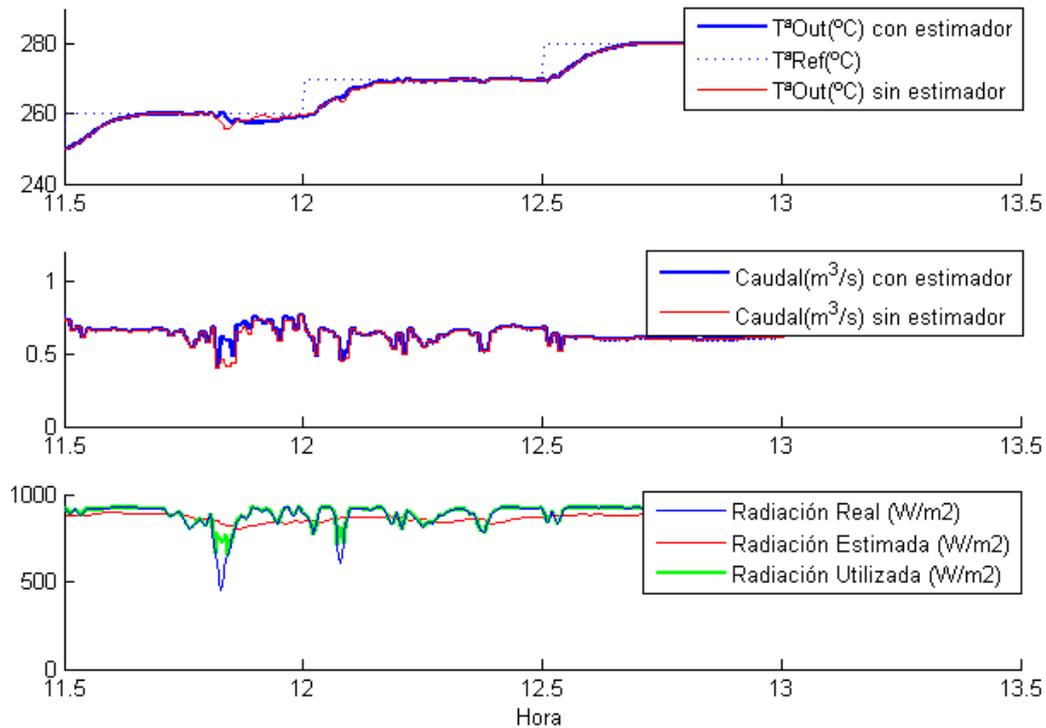


Figura 6.9: Comportamiento del GPC-GS durante transitorio con y sin estimador de radiación.

En general, cuando un pirheliómetro sufre un fallo completo la medida enviada es cero. Por lo que la heurística sencilla pasará a utilizar la medida de radiación estimada y se podrá continuar con la operación de la planta aun sin tener el pirheliómetro. A continuación se presenta en la fig 6.10 una simulación en la que el pirheliómetro proporciona medidas con bruscas diferencias entre ellas. Esta simulación se ha supuesto que el pirheliómetro está midiendo correctamente y que la IDN está siendo así de brusca por lo que la radiación que hay en el campo solar es la medida por el pirheliómetro. Se muestran la diferencia entre usar el pirheliómetro y el estimador con heurística. Se observa que la diferencia entre usarlo y no en caso de buena medida del pirheliómetro es que al filtrarse la radiación mediante la heurística, se provoca un descenso algo mayor de la temperatura que se corrige una vez convergen la estimada y la real. Es decir, se provoca un descenso de la temperatura pues se la diferencia entre muestras de la radiación real y estimada es en ocasiones muy grande.

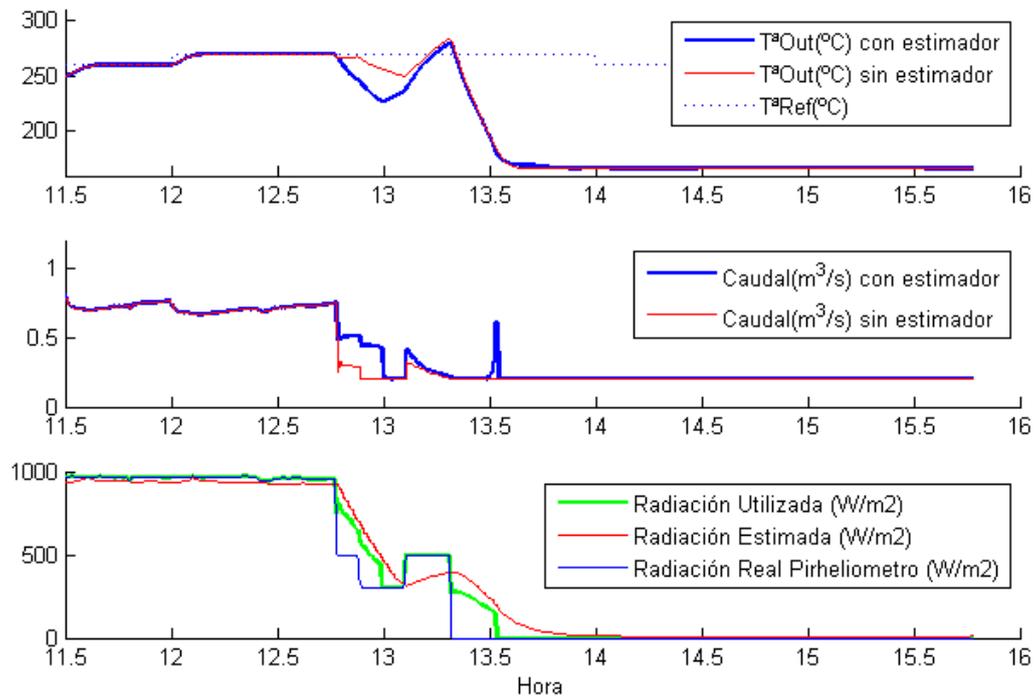


Figura 6.10: GPC-GS con y sin estimador con medidas bruscas correctas del pirheliómetro.

Para concluir se presenta en la fig 6.11 una simulación similar a la anterior. En este caso se ha supuesto que el pirheliómetro puede estar:

- Midiendo mal.
- Midiendo bien pero el transitorio no está en el campo solar.

Si se utiliza exclusivamente la radiación marcada por el pirheliómetro, cuando al campo está llegando otra diferente, se observa como se producen movimientos de caudal constantes y bruscos que podrían activar los modos resonantes de la planta. Al FeedForward le estaría llegando una medida de radiación que no tiene nada que ver con el campo, pero recordemos que el FeedForward proporciona un caudal en regimen permanente y es por esto que se varíe tanto de caudal ya que el GPC intentará mantenerse en la temperatura de referencia aunque no lo consigue debido a la mala radiación que se le está enviando al FeedForward. Cuando el pirheliómetro deja de funcionar y da cero, el FeedForward pasará a dar el mínimo caudal siempre, no importa que referencia de el GPC por lo que no se podría controlar más el campo y habría que desconectar el controlador.

Sin embargo, con el uso del estimador, se puede continuar la operación perfectamente. Durante la primera parte de medidas dispares del pirheliómetro, la temperatura de salida sufre una pequeña perturbación que se corrige rápidamente y posteriormente se deja de usar la radiación del pirheliómetro por ser demasiado diferente y se puede continuar regulando la temperatura sin problemas. Con el uso del estimador se han evitado los cambios bruscos de caudal en la primera zona de medida errónea del pirheliómetro.

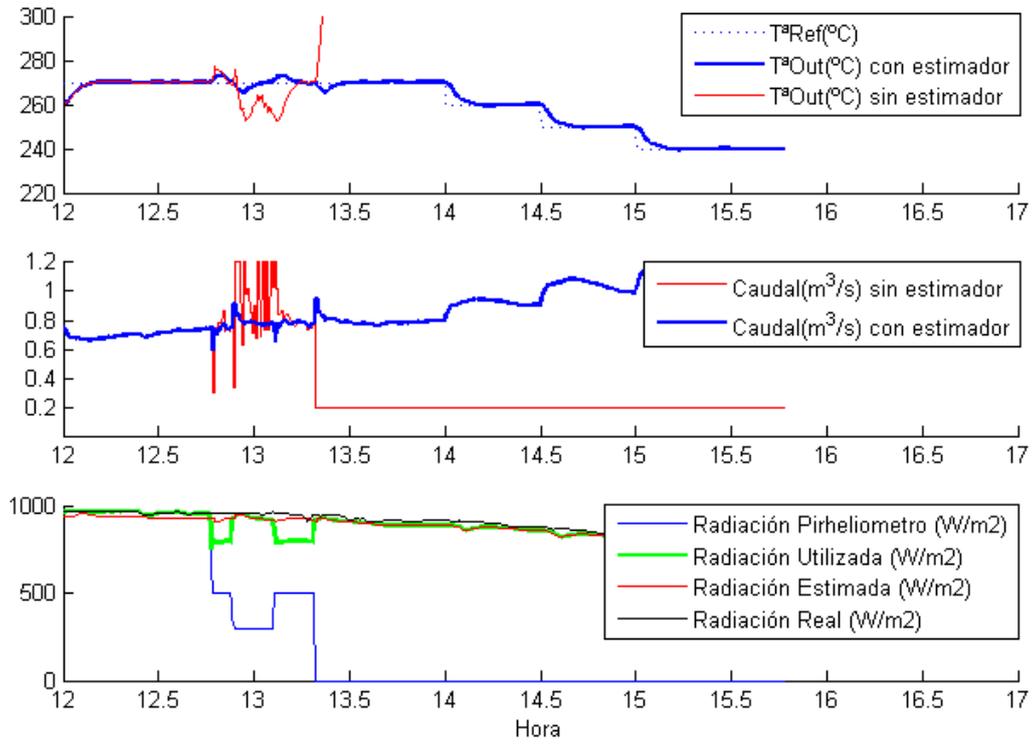


Figura 6.11: GPC-GS con y sin estimador con medidas bruscas erróneas del pirheliómetro.