

## Capítulo 6: Conclusiones.

### 1. Análisis final de resultados.

En el presente capítulo se obtendrán y analizarán las conclusiones que del análisis realizado a partir del modelo construido hayan resultado.

Se tratará de presentar la relación existente entre las perturbaciones producidas en el análisis del comportamiento transitorio y los valores alcanzados por las variables que se consideran como salidas del modelo.

Para realizar esto, tendrá sentido utilizar sólo los casos en el funcionamiento de la máquina que no han quedado limitados por el sistema de regulación en el intento de evitar los fenómenos de bombeo y bloqueo.

Por lo tanto, para comparar la perturbación producida y la variación sufrida por las variables fundamentales de funcionamiento de la turbina sólo serán válidos los casos en los que la potencia demandada a la máquina aumenta o disminuye un 5%. En los restantes casos, como ya se ha mostrado en el anterior capítulo, esta comparación estaría falseada debido a que a los valores finales de las variables no se les deja evolucionar libremente como consecuencia de la actuación del sistema de regulación.

#### Descenso en un 5% de la potencia demandada.

Tras la consecuente variación en la potencia demandada a la máquina, a esta se la deja evolucionar hasta unas nuevas condiciones estacionarias. En la siguiente tabla se comparan los valores iniciales y finales de las variables fundamentales una vez producida la perturbación.

Variable	Valor	Valor	Variación	Unidad
Temperatura admisión al compresor	300	300	-	K
Presión admisión al compresor	100000	100000	-	Pa
Humedad relativa de admisión	30%	30%	-	-
Gasto másico de aire	56,30	56,07	-0,4	kg/s
Gasto másico de combustible	1,25	1,242	-0,6	kg/s
Gasto másico de vapor de inyección	2,33	2,51	7,7	kg/s
Poder calorífico del combustible	40000000	40000000	-	J/kg
Presión de escape de la turbina	100800	100800	-	Pa
Rendimiento de la máquina	23,61%	22,52%	-1	-
Rendimiento del compresor	81,09%	79,59%	-1.5	-
Rendimiento de la turbina	85,34%	85,34%	0	-

Potencia producida	11.804.000	11.214.025	-5,0	W
Potencia producida turbina	44.063.891	45.168.910	2,5	W
Potencia consumida compresor	32.259.653	33.954.885	5,3	W
Temperatura escape del compresor	841,9	871,12	3,5	K
Temperatura entrada en la turbina	1374,7	1387,9	1,0	K
Temperatura escape de la turbina	777,6	777,6	0,0	K
Temperatura máxima C.combustión	2000	2000	-	K

Tabla 6.1

La primera de las observaciones a realizar es referente al hecho de que hay unas variables que se ven mucho mas afectadas que otras ante la variación de la potencia demandada.

Las variables que se ven afectadas en mayor cuantía se puede concluir que lo hacen de una manera aproximadamente lineal con la potencia, ya que las variaciones obtenidas son del mismo orden de magnitud.

La linealidad de esta variación se vería truncada en el momento en que las variaciones de potencia lleguen a niveles que hagan entrar el punto de funcionamiento en la zona de inestabilidades del compresor, ya que es a partir de ese momento del cual el sistema de regulación impediría la libre evolución de variables limitando el rango de funcionamiento.

El caso en concreto del gasto de combustible y de aire es muy significativo. En principio parecía lógico el hecho de que éstas también evolucionasen de una manera cuasi lineal, pero el hecho de que el rendimiento del compresor evolucione con el mismo signo de variación de la potencia hace que la necesidad de actuación sobre las variables fundamentales, gasto de aire y de combustible, sea menor de lo esperado.

Una conclusión a tener en cuenta es que si la máquina evoluciona hacia zonas de menor rendimiento del compresor el funcionamiento resulta mucho menos económico, ya que la disminución de potencia no se ve acompañada de una disminución en el gasto de combustible similar.

Destacar también la práctica invariabilidad del rendimiento de la turbina, siendo pues crítico en el funcionamiento del conjunto el rendimiento del compresor frente al de la turbina.

### **Aumento en un 5% de la potencia demandada.**

En la siguiente tabla se muestran también los valores obtenidos en este caso para la situación en que la potencia demandada ha aumentado en vez de disminuir:

Variable	Valor	Valor	Variación	Unidad
Temperatura admisión al compresor	300	300	-	K
Presión admisión al compresor	100000	100000	-	Pa
Humedad relativa de admisión	30%	30%	-	-
Gasto másico de aire	56,30	56,5	0,4	kg/s
Gasto másico de combustible	1,25	1,27	1,6	kg/s
Gasto másico de vapor de inyección	2,33	2,219	-4,8	kg/s
Poder calorífico del combustible	40000000	40000000		J/kg
Presión de escape de la turbina	100800	100800	-	Pa
Rendimiento de la máquina	23.61%	24.31%	0.7	-
Rendimiento del compresor	81,09%	81,83%	0.74	-
Rendimiento de la turbina	85,34%	85,34%	0	-
Potencia producida	11.804.000	12.350.000	4,6	W
Potencia producida turbina	44.063.891	43.338.378	-1,6	W
Potencia consumida compresor	32.259.653	30.988.378	-3,9	W
Temperatura escape del compresor	841,9	819,75	-2,6	K
Temperatura entrada en la turbina	1374,7	1370,3	-0,3	K
Temperatura escape de la turbina	777,6	783,36	0,7	K
Temperatura máxima C.combustión	2000	2000	-	K

Tabla 6.2

Las conclusiones a señalar son las mismas que las citadas anteriormente, observándose en este caso como un aumento en el rendimiento del compresor lleva asociado el hecho que se pueda aumentar la potencia producida con aumento en el consumo de combustible que no es lineal. Esto podría llevar a pensar que lo mejor sería funcionar lo más cercano posible a la zona de rendimiento máximo del compresor, lo cual en este caso sería cierto, si bien, esa mayor economía se vería contrarrestada con el hecho de que el punto de funcionamiento se encontraría más cercano a alguna de las zonas de inestabilidad, provocando que las posibles variaciones en el régimen de funcionamiento estuvieran más limitadas que ahora.

### **Aumento en un 10% de la energía térmica de los gases de escape demandada.**

Tras la consecuente variación de la energía térmica de los gases de escape, se deja evolucionar a la máquina hasta unas nuevas condiciones estacionarias. En la siguiente tabla se comparan los valores iniciales y finales de las variables fundamentales una vez producida la perturbación.

Variable	Valor	Valor	Variación	Unidad
Temperatura admisión al compresor	300	300	-	K
Presión admisión al compresor	100000	100000	-	Pa
Humedad relativa de admisión	30%	30%	-	-
Gasto másico de aire	56,30	55.8	-1	kg/s
Gasto másico de combustible	1,25	1.34	7.2	kg/s
Gasto másico de vapor de inyección	2,33	3.03	30	kg/s
Poder calorífico del combustible	40000000	40000000		J/kg
Presión de escape de la turbina	100800	100800	-	Pa

Rendimiento de la máquina	23.61%	22.09%	-1.5	-
Rendimiento del compresor	81,09%	76,82%	-4.27	-
Rendimiento de la turbina	85,34%	85,34%	0	-
Potencia producida	11.804.000	11.804.000	0	W
Potencia producida turbina	44.063.891	48.322.792	10	W
Potencia consumida compresor	32.259.653	36.518.566	13	W
Temperatura escape del compresor	841,9	915,7	8.76	K
Temperatura entrada en la turbina	1374,7	1446,1	5.19	K
Temperatura escape de la turbina	777,6	807,6	3.85	K
Temperatura máxima C.combustión	2000	2000	-	K

Tabla 6.3

Se puede observar como la variaciones sufridas por la mayoría de las variables son del orden de magnitud de la perturbación sufrida por el sistema.

Además observar el hecho de que el mantenimiento de la potencia producida por la máquina se realiza a base de inyectar más combustible, con la consecuente reducción de la economía de funcionamiento. Esto se ve reflejado en la considerable reducción del rendimiento global de la máquina.

Es también importante destacar el considerable aumento en la cantidad de vapor inyectada en la cámara de combustión debido precisamente a que el aumento del dosado provocaría un aumento importante de la temperatura máxima en la cámara de combustión.

## 2. Conclusiones finales.

- El funcionamiento de la Turbina de Gas se ve mucho más influenciado por las condiciones de funcionamiento del compresor que por las condiciones de la turbina.
- El funcionamiento dependerá a su vez del compresor utilizado y más concretamente de las curvas que los caracterizan. Por lo tanto la elección de otro modelo de compresor habría variado los resultados obtenidos en este análisis, si bien en líneas generales se habría parecido bastante, sobre todo en términos cualitativos.
- El rango de regímenes de funcionamiento en la Turbina de Gas es bastante limitado dependiendo éste, fundamentalmente, de las características del compresor.
- El comportamiento transitorio de las variables de funcionamiento de la Turbina de Gas depende, en cuanto a duración y amplitud de las oscilaciones, del sistema de regulación empleado así como la sintonización de los controladores del mismo. Si bien, en términos generales se puede decir que el comportamiento es similar por lo

que el sistema implementado en el presente modelo es válido para las expectativas creadas a priori.

- Las variaciones en las necesidades de energía térmica por parte de la caldera de recuperación afectan de manera muy importante al funcionamiento de la turbina de gas dentro de una planta de potencia basada en un ciclo combinado. Así, dentro de la regulación global de la planta al completo, habrá que sopesar la introducción de sistemas como los de combustión suplementaria, para aquellas situaciones en las que los requerimientos de energía en la caldera hagan que el funcionamiento de la turbina de gas, con rendimientos bajos, ponga en peligro la economía de funcionamiento.