

9.3. Turbinas a gas y sus sistemas de regulación de velocidad

En las unidades con turbinas a gas las acciones de control son realizadas por 4 sistemas de control que compiten por el manejo de la válvula de entrada de combustible a la cámara de combustión:

- Los controles de arranque y parada, sólo toman el control en esas etapas.
- El control de aceleración sólo toma el control durante las secuencias de arranque y parada o ante variaciones muy grandes de velocidad, por ejemplo por apertura del interruptor de máquina en carga, pero no en operación en paralelo.
- En la operación en paralelo sólo compiten por el manejo de la válvula los lazos de temperatura y velocidad.
- El manejo de la válvula lo realiza el control de carga/velocidad sujeto a un límite máximo dado por el límite de temperatura. Límite que varía con las condiciones de operación (temperatura ambiente).

Control carga/velocidad

Representa el regulador de velocidad de la unidad (figura 9.3.1), las entradas son la desviación de velocidad (ΔN) y la referencia de carga de la unidad (V_L), las salida es el flujo de combustible F_D para mantener la velocidad.

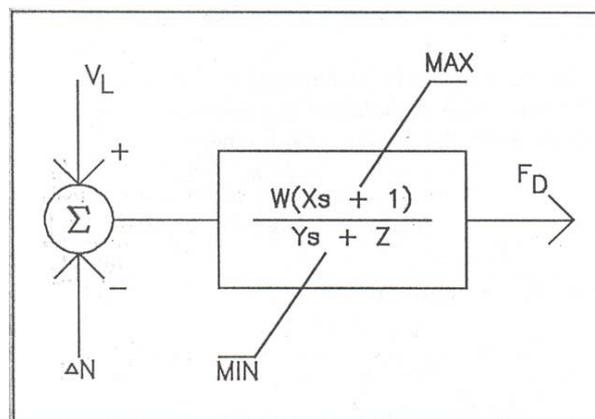


Fig. 3. Speed Load Controls

Figura 9.3.1: Control carga/velocidad.

Los parámetros W , X , Y y Z se pueden ajustar para que el regulador actúe con estatismo permanente (R_p) o en forma sincrónica ($Z=0$).

F_D representa el valor deseado de potencia mecánica de salida de la turbina determinado por el control carga/velocidad. F_D está limitada por los limitadores de temperatura y de aceleración a través de una compuerta que selecciona el valor mínimo.

Sistemas de control de combustible

- El flujo de combustible tiene un límite superior que representa el máximo flujo de combustible físicamente obtenible y un límite inferior que mantenga la combustión en toda condición de operación.
- K_6 es el valor de offset que representa el flujo de combustible en vacío a velocidad nominal.
- La velocidad de la bomba de combustible está vinculada con la velocidad del rotor, se encuentra en el mismo eje.
- La constante de tiempo T representa el retardo de tiempo del regulador de velocidad que utiliza lógica digital en vez de dispositivos analógicos.
- La dinámica de la válvula de combustible y del flujo de combustible en la tubería es representada por sistemas de 1er orden con constante de tiempo b/c y t_f .

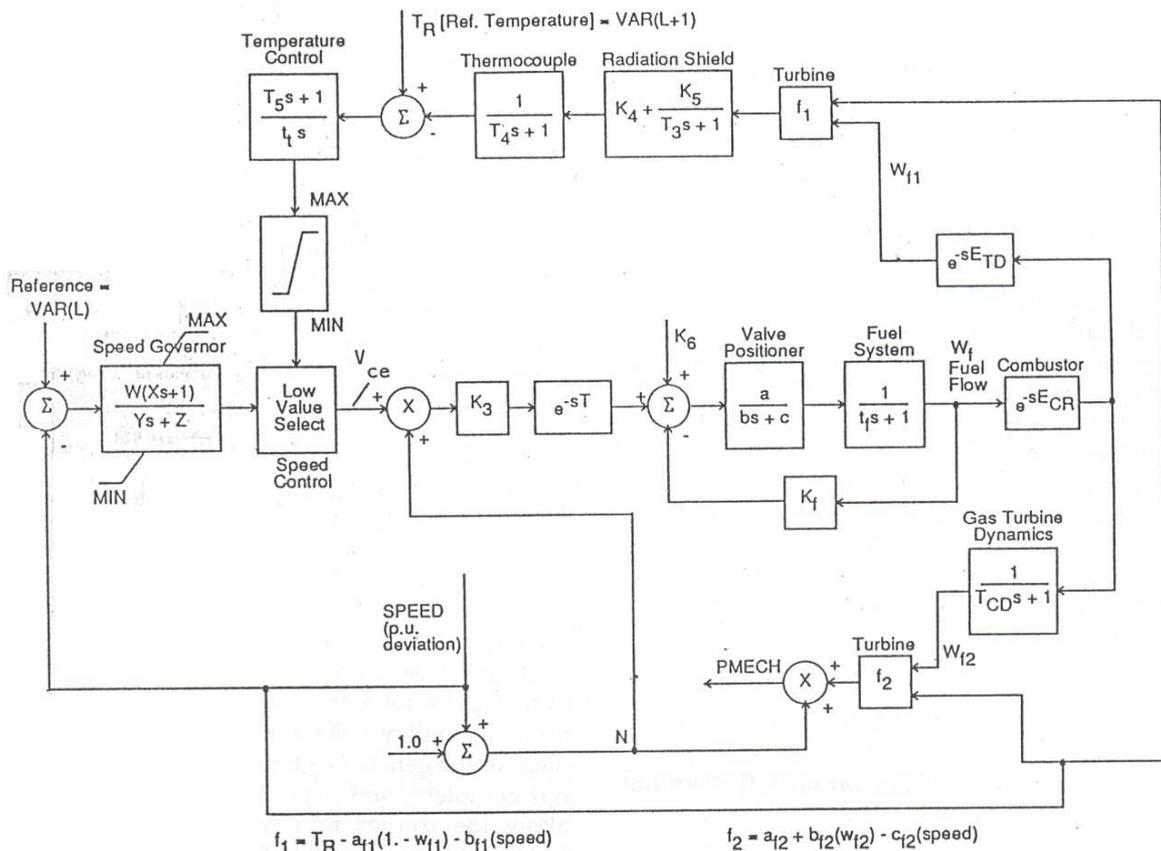


Figure 1. Block Diagram for Governor-Turbine System for a Combustion Turbine

Figura 9.3.2: Diagrama de bloques del sistema turbina-regulador de velocidad de una turbina a gas.

Turbina a gas

- El flujo de combustible W_F ingresa al sistema cámara de combustión.
- Los gases de combustión impulsan a la turbina que entrega un torque mecánico en su eje. El torque multiplicado por la velocidad determina la potencia mecánica P_{MECH} desarrollada por la turbina.
- La potencia mecánica entregada por la turbina tiene un pequeño retardo $E_{CR} + T_{CD}$ con respecto al caudal de combustible dado por el proceso de combustión.
- E_{CR} representa el retardo de tiempo de la cámara de combustión, T_{CD} es la constante de tiempo de descarga del compresor y E_{TD} el retardo del sistema de escape.

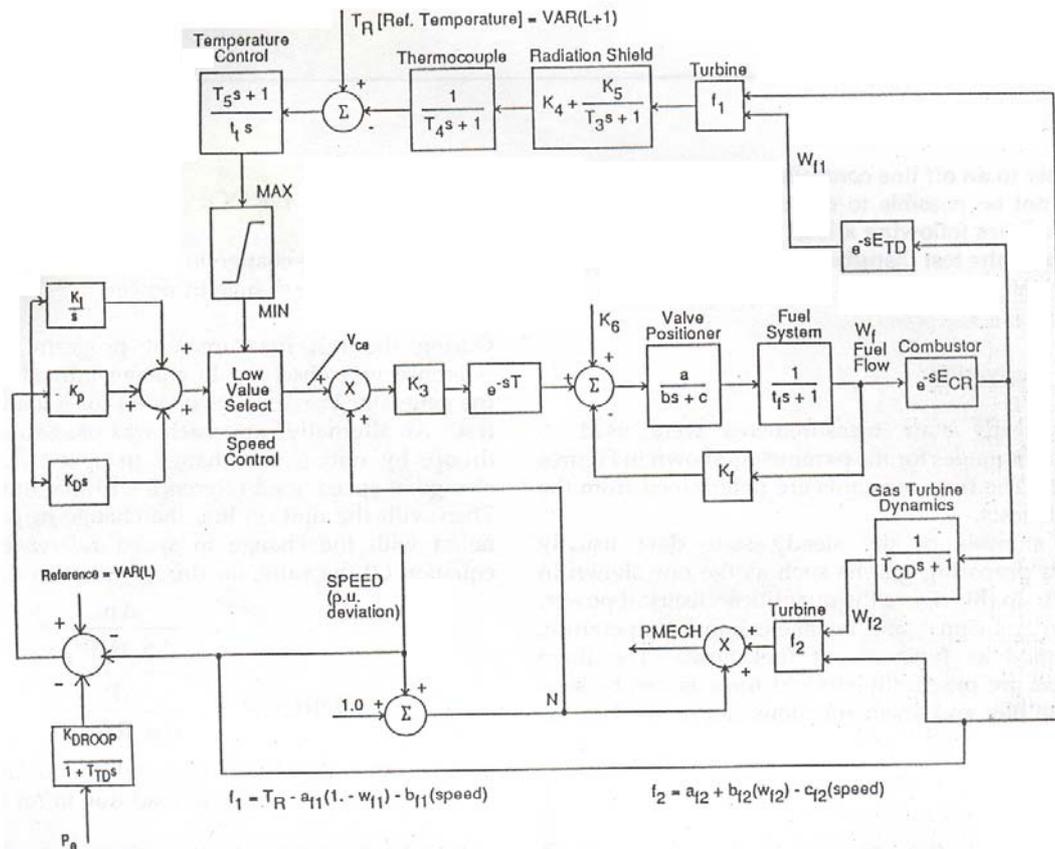


Figure 2. Block Diagram for Governor-Turbine System for a Combustion Turbine With Woodward Governing Controls

Figura 9.3.3: Diagrama de bloques del sistema turbina-regulador de velocidad de una turbina a gas con regulador Woodward.

Sistema de control de temperatura

- Se utilizan unas guías de admisión “Inlet guide vane” (IGV) para controlar la temperatura de los gases de escape de la turbina.
- La temperatura de escape T_E depende del flujo de combustible W_f . La medición de T_E está representada por la dinámica de una termocupla y del aislante de radiaciones (radiation shield).
- La medición de la temperatura de escape T_E es comparada con la temperatura de referencia T_R , cuando $T_E < T_R$ la salida del controlador PI alcanza el máximo (1.1 pu).
- Si $T_E > T_R$ la salida del controlador disminuye hasta el punto donde su salida desplaza a la señal FD en el bloque que selecciona el valor mínimo V_{ce} .

- Asume el control de la válvula de admisión de combustible el controlador de temperatura de escape.

El regulador Woodward consiste en un controlador PID para el control carga/velocidad. La medición de la potencia eléctrica es adicionada a la señal de error para proveer estatismo permanente K_{DROOP} .

9.4. Unidades de ciclo combinado y sus sistemas de regulación de velocidad

Una planta de ciclo combinado puede ser vista como el acoplamiento de una turbina a gas y una turbina a vapor a través de un generador de vapor por recuperación de calor “heat recovery steam generator” (HRSG).

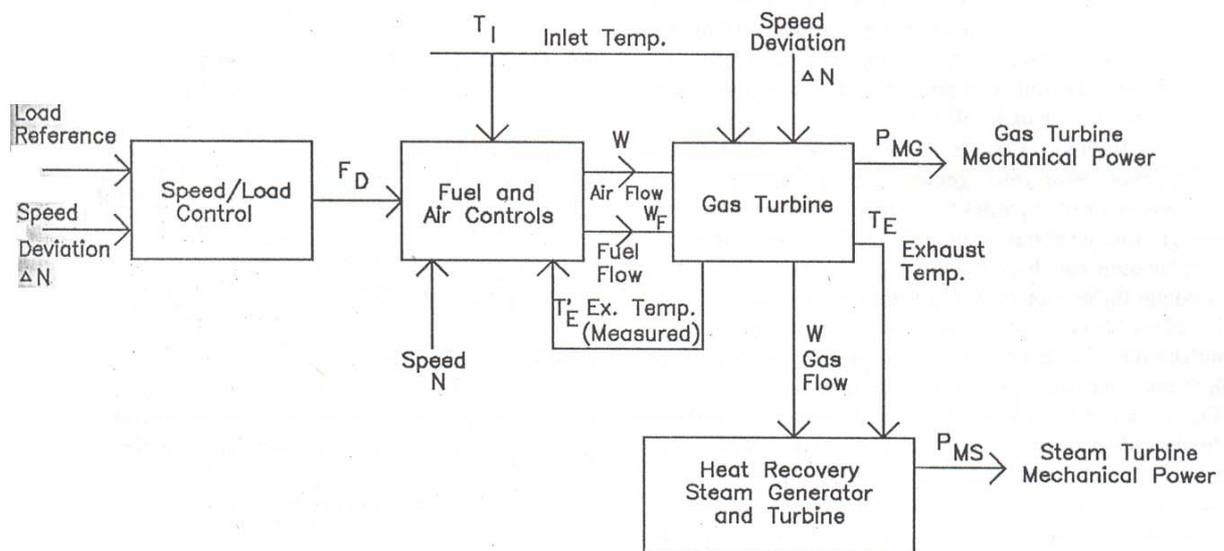


Fig. 2. Combined Cycle Model

Figura 9.4.1: Esquema del sistema turbinas-regulador de velocidad de una unidad de ciclo combinado.

En las unidades de ciclo combinado se aprovecha la temperatura de los gases de escape para generar vapor. Los gases son volcados en una caldera recuperadora de calor la cual provee vapor a una turbina a vapor.

Para lograr el mayor aprovechamiento energético de estas unidades es necesario mantener una alta temperatura del vapor aún en condiciones de

baja carga. Esto requiere la inclusión de una estrategia de control de la temperatura de escape.

En la figura 9.4.1 se muestra la relación entre los componentes de una unidad de ciclo combinado.

El modelo del controlador carga/velocidad y el sistema de control de combustible coinciden con los analizados en el modelo de turbinas a gas.

Sistemas de control de aire

El sistema incluye un sistema de control de flujo de aire que ingresa a la cámara de combustión (figura 9.4.2).

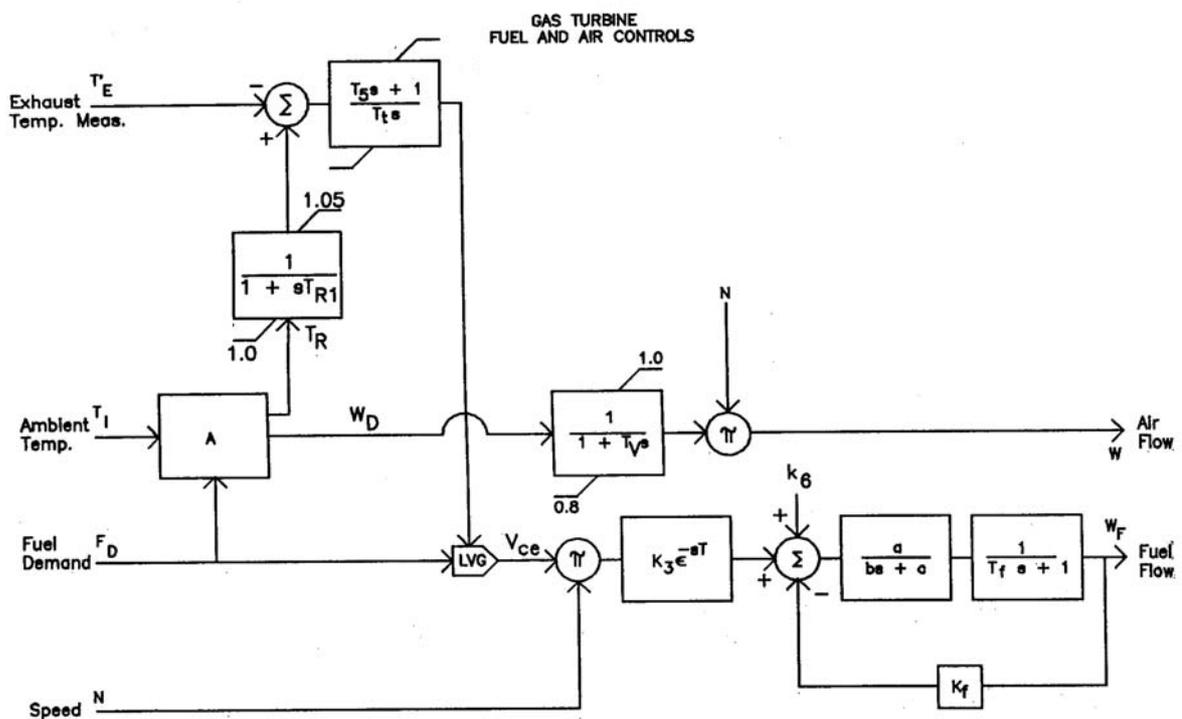


Fig. 4

Figura 9.4.2: Control de los flujos de aire y de combustible.

En condiciones normales de carga el flujo de combustible y la admisión de aire con controlados para mantener constante la temperatura de admisión de la turbina a gas T_f .

En base al requerimiento de combustible F_D y a la temperatura ambiente T_I se determina el flujo de aire deseado (W_D). La temperatura ambiente T_I es la temperatura de admisión de aire al compresor.

La respuesta del control del compresor está modelada con un retardo de 1er orden con constante T_V y un limitador dinámico que corresponde al rango de apertura de la admisión de aire. El flujo de aire W es función de la apertura y de la velocidad en el eje de la máquina pues el compresor está montado en su eje.

Sistema de control de temperatura

Se utilizan las guías de admisión “Inlet Guide Vane” (IGV) para controlar la temperatura de los gases de escape de la turbina y así mantener la eficiencia del ciclo a vapor en condiciones de baja carga.

Conociendo el flujo de aire W_D se calcula el valor de referencia para la temperatura de escape T_R de manera tal de mantener la carga deseada a temperatura constante de admisión a la turbina (T_f).

El cálculo de T_R se realiza sobre la base de las relaciones termodinámicas de la turbina a gas. La referencia T_R ingresa al sistema de control de temperatura de escape a través de un retardo de 1er orden (T_{R1}) y de un limitador dinámico.

Al igual que en el control de la turbina a gas la medición de temperatura de escape T_E es comparada con la referencia T_R . Cuando $T_E > T_R$ el controlador de temperatura de escape asume el control de la válvula de admisión de combustible.

Turbina a gas

La figura 9.4.3 muestra las relaciones utilizadas para determinar la potencia mecánica desarrollada por la turbina a gas y la temperatura de escape T_E .

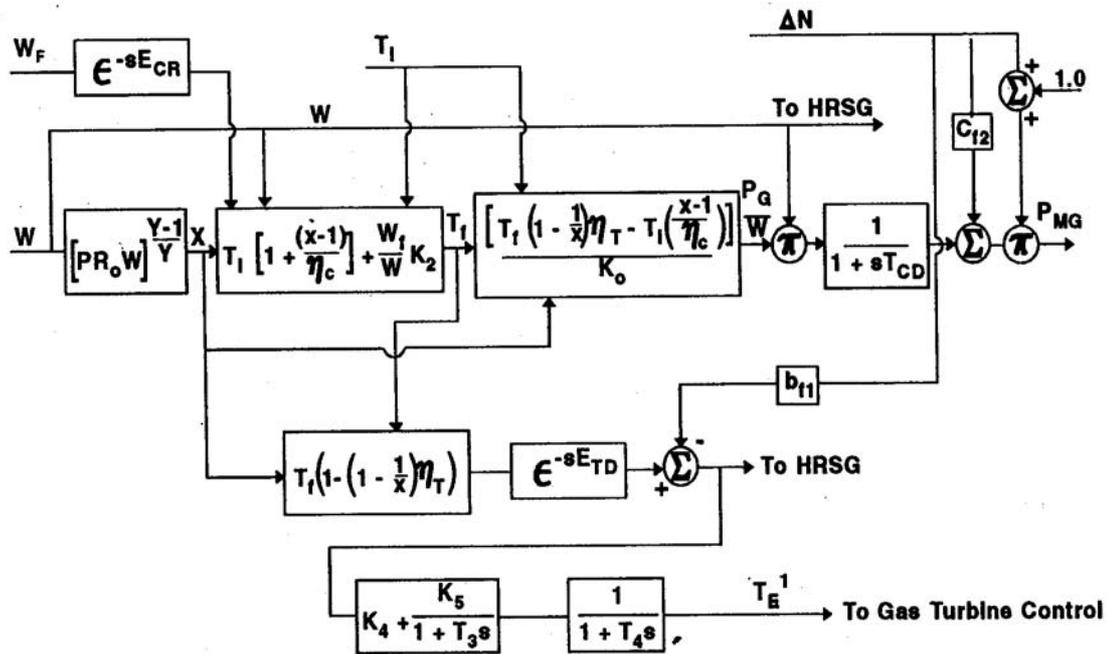


Fig. 5

Figura 9.4.3: Modelo de una turbina a gas de una unidad de ciclo combinado.

En la potencia entregada por la turbina en el eje influyen, además del caudal de combustible W_F y de aire W , la temperatura T_f de admisión a la turbina, con una dinámica representada por un sistema de primer orden con constante de tiempo T_{CD} .

Turbina a vapor

El generador de vapor por recuperación de calor (HRSG) reacciona a los cambios en el caudal de escape de la turbina a gas y en la temperatura de escape.

La figura 9.4.4 muestra el modelo del sistema HRSG – turbina a vapor, mientras que en la figura 9.4.5 se observa un modelo simplificado.

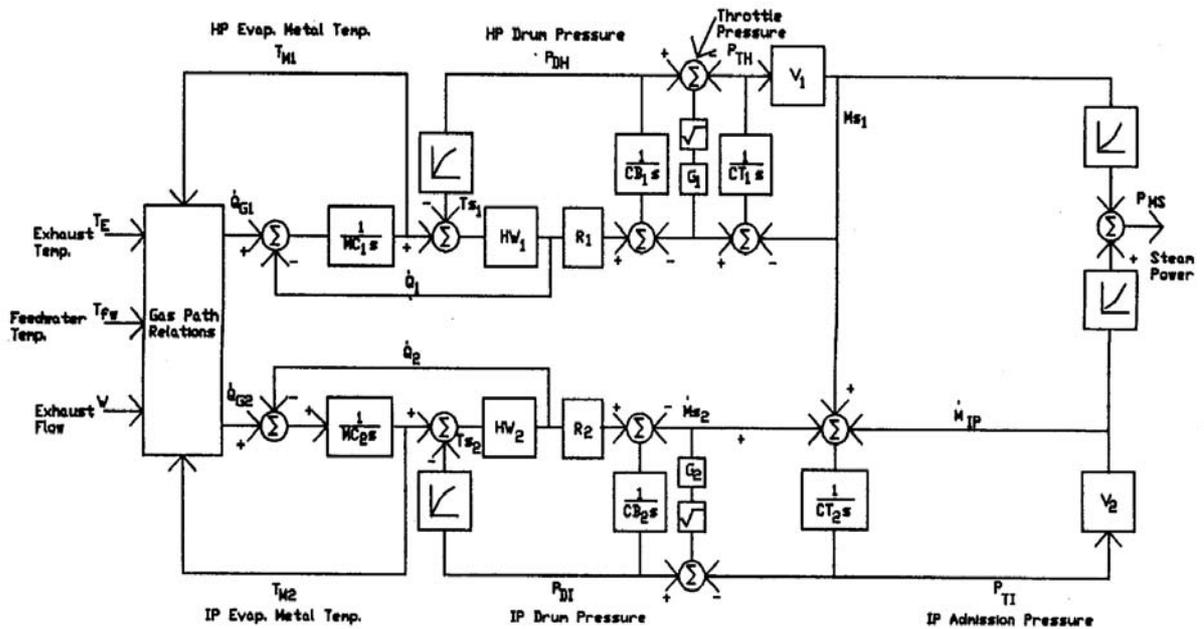


Fig. 7. Steam System Model

Figura 9.4.4: Modelo del sistema HRSG – turbina a vapor de una unidad de ciclo combinado.

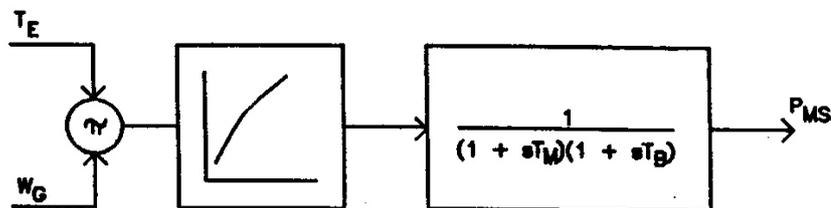


Fig. 8. Simplified Steam Turbine Power Response Model

Figura 9.4.5: Modelo simplificado del sistema HRSG – turbina a vapor de una unidad de ciclo combinado.

Referencias apartados 9.3 y 9.4

Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies: “Dynamic Models for Combined Cycle Plants in Power System Studies”. IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 9, Nro 3, August 1994, pp 1698-1708.

L.H.Hannett and Afzal Khan: “Combustion Turbine Dynamic Model Validation from Tests”. IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 8, Nro 1, Feb 1993, pp 152-158.

9.5. “Ingreso de nuevos generadores al MEM. Requisitos para solicitar su ingreso al MEM”. Procedimiento Técnico Nro 4 de CAMMESA, Argentina. Capítulo II.

Requisitos para el sistema de control de potencia-frecuencia

- Estatismo permanente ajustado entre el 4% y 7%.
- Banda muerta inferior a 0,1%.
- Tiempo de establecimiento (necesario para que la potencia mecánica ingrese en la banda del $\pm 10\%$ del incremento de carga aplicado) del lazo de regulación de velocidad menor a 60 segundos para máquinas térmicas e inferior a 140 s para máquinas hidráulicas.
- El lazo de control potencia-frecuencia, se deberá ajustar de manera tal, que el tiempo de establecimiento verifique los requisitos
- Para el sistema de control frecuencia-potencia suministrar modelos que permitan reproducir la dinámica de variables como: posiciones de válvulas y potencia mecánica, ante ensayos de rechazo de carga y ensayos de toma de carga al variar en forma de escalón o rampa las consignas de potencia y de frecuencia.
- Operar en regulación primaria de frecuencia, sin ningún tipo de limitación, por lo menos dentro de la banda $\pm 0,2$ Hz de la frecuencia de referencia en operación normal (habitualmente 50 Hz).