CONTROL AUTOMATICO PARA LA REGULACION DE FRECUENCIA EN LAS CENTRALES TERMICAS DE ELECTROGUAYAS

Jaime Ochoa Coronel[1], Elsy Parodi Ocaña[2], José Arteaga Cordero[3], Cristóbal Mera Gencón[4].

[1]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2001
[2]Ingeniera Eléctrica en Potencia 2001
[3]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2001
[4]Director del Tópico, Ingeniero Eléctrico en Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Master of Engineering in Electrical Engineering, Texas A&M University, Texas, USA, Ph.D in Electrical Engineering, Texas A&M University, Texas, USA.

RESUMEN

El presente Trabajo realiza un análisis del sistema de regulación de velocidad (frecuencia) en las centrales térmicas de ELECTROGUAYAS, para lo cual, se revisa la reglamenteación del sector eléctrico ecuatoriano y los organismos que lo conforman, con el fin de conocer los requisitos que deben cumplir los agentes generadores del Mercado Eléctrico Mayorista. De igual manera, se hace una descripción del funcionamiento de las centrales térmicas de vapor y de gas, así como sus características generales y sus componentes principales, para facilitar la comprensión de las mismas.

Luego, se analiza el sistema de regulación de velocidad como un controlador de la frecuencia del sistema y de la unidad en sí ante cualquier tipo de disturbio. Mediante el uso de diagramas de bloque de control automático y las ecuaciones del funcionamiento de las unidades térmicas en estudio, se forman los modelos básicos para el control de velocidad, y con éstos se analiza el comportamiento de la frecuencia realizando la variación de los parámetros más importantes de la máquina.

Posteriormente, se revisa la metodología utilizada en nuestro país por parte del CENACE para la asignación del porcentaje óptimo de regulación primaria de frecuencia. Finalmente, mediante el programa MATLAB y su herramienta de control SIMULINK se realizan simulaciones para observar el comportamiento de las máquinas como unidades en sí, y su aporte al área en que se encuentran ubicadas.

INTRODUCCION

Un problema que existe en todos los sistemas de potencia, es que están expuestos a distintos tipos de disturbios, que provocan el desbalance entre la potencia mecánica y la potencia eléctrica, lo que ocasiona una disminución (o aumento) de la velocidad en los generadores, y por lo tanto en la frecuencia del sistema. En el sistema eléctrico de nuestro país esto no es una excepción, formándose una gran controversia entre el Organismo de Control y las Centrales de Generación, por la manera en que éstas responden ante cualquier disturbio.

Uno de los inconvenientes que se presenta con frecuencia es que al haber una perturbación de considerable magnitud, las unidades "Trinitaria" y "Dr. Enrique García", que pertenecen a ELECTROGUAYAS, salen de operación causando problemas de estabilidad en el sistema.

Este Trabajo está destinado a analizar el comportamiento de las unidades de generación de ELECTROGUAYAS en lo que se refiere a su regulación primaria de frecuencia, mediante simulaciones que permitan tener una apreciación aproximada del comportamiento real de las máquinas como unidad y su aporte al sistema, y también, conocer la estabilidad del sistema de control de velocidad de cada una de ellas.

Con el desarrollo de este tema se espera proporcionar ideas para que este problema sea tratado no sólo desde el punto de vista económico, sino también se tome en cuenta los aspectos técnicos de las máquinas, pero siempre de una forma conveniente tanto para el sistema como para las centrales de generación, y a su vez, respetando la Reglamentación del sector eléctrico ecuatoriano.

CONTENIDO

1. MODELOS DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA CENTRALES TERMICAS

Con los diagramas de bloques de control automático, se puede desarrollar modelos para cada uno de los componentes de las centrales térmicas, y a partir de éstos, se forma un diagrama de bloques final que represente al sistema de potencia[2].

En las figuras 1 – 3 se presentan los diagramas de bloques de las centrales térmicas de ELECTROGUAYAS, que son: la Central a Vapor sin recalentamiento "Ing. Gonzalo Zevallos G.", la Central a Vapor con recalentamiento "Trinitaria" y la Central a Gas "Dr. Enrique García".

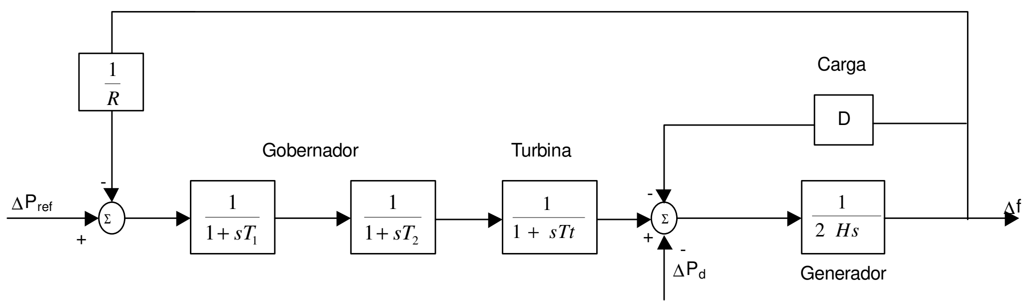

Figura 1. Diagrama de bloques para la Central a Vapor sin recalentamiento y un regulador tipo mecánico - hidráulico

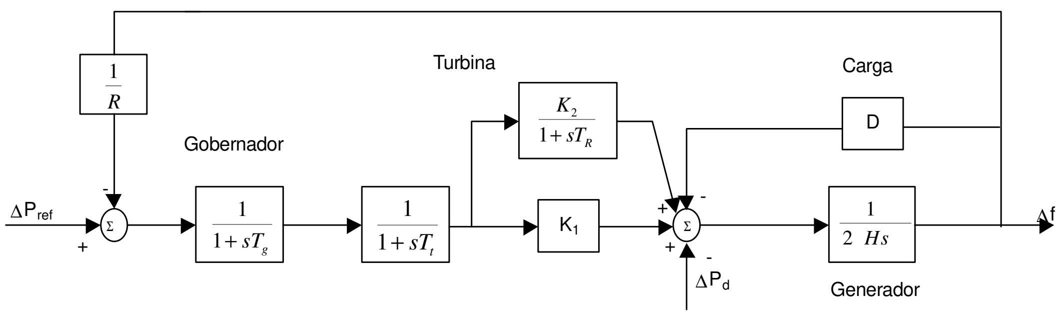

Figura 2. Diagrama de bloques para la Central a Vapor con recalentamiento y un regulador tipo electro - hidráulico

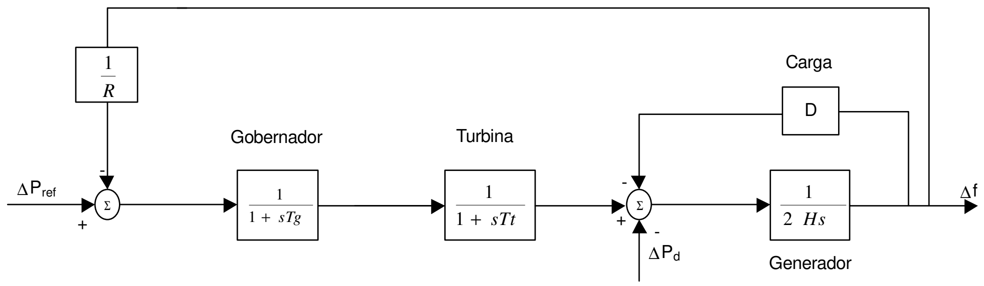

Figura 3. Diagrama de bloques para la Central a Gas con un regulador tipo electro - hidráulico

De los modelos anteriores, se definen los siguientes parámetros[3]:

ΔP_m : Cambio en la potencia mecánica
T_t : Retraso de tiempo que se experimenta en las tuberías de vapor
ΔP_{m1} : Cambio en la potencia mecánica a la salida de las etapas de media y baja presión.
ΔP_x : Cambio en la potencia a la salida de la etapa de alta presión.
T_R : Retardo de tiempo experimentado en el recalentador.
K_1 : Fracción de potencia desarrollada en la turbina de alta presión.
K_2 : Fracción de potencia desarrollada en las etapas de presión media y baja.
T_t : Retardo de tiempo que se experimenta en el proceso de la combustión
D: Coeficiente de amortiguamiento del sistema
R: Porcentaje de regulación
H: Inercia

2. RESPUESTA DE LAS UNIDADES ANTE DISTURBIOS EN UN SISTEMA MULTIMAQUINAS

Para determinar la respuesta de todas las unidades ante un disturbio, se conectan como un sistema multimáquinas, suponiendo que se encuentran en una misma área, es decir, despreciando el enlace de transmisión. Se aplican diferentes tipos de disturbios escalón al sistema, como el rechazo de carga (aumento de generación) y la pérdida brusca de generación (aumento de carga) para el periodo seco, con los porcentajes de reserva para regulación de frecuencia correspondientes, y con los valores de potencia que el CENACE dispone según el despacho de generación. Luego se grafican las respuestas de potencia de cada unidad, la potencia total y la frecuencia, analizando los resultados que se obtengan.

En primer lugar se realiza el análisis con todas las unidades generando al 100% de su potencia nominal, respetando el porcentaje de reserva del 2% para regulación de frecuencia en este periodo y simulando un aumento de carga de 30 MW en el sistema[1].

Los resultados de las simulaciones realizadas se muestran en las figuras 4 - 6.

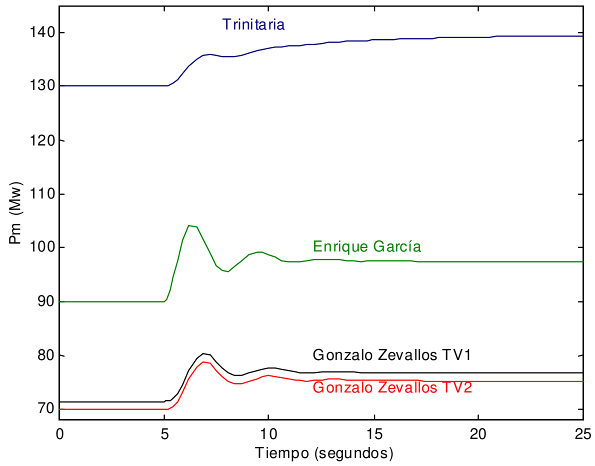

Figura 4. Contribuciones individuales de potencia ante un aumento de carga

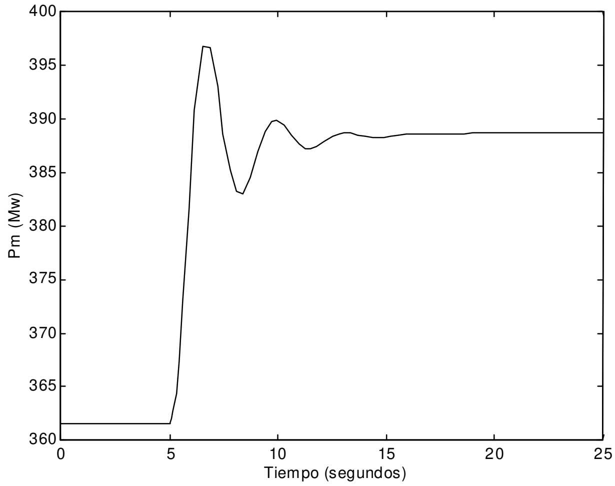

Figura 5. Contribución total de potencia ante un aumento de carga

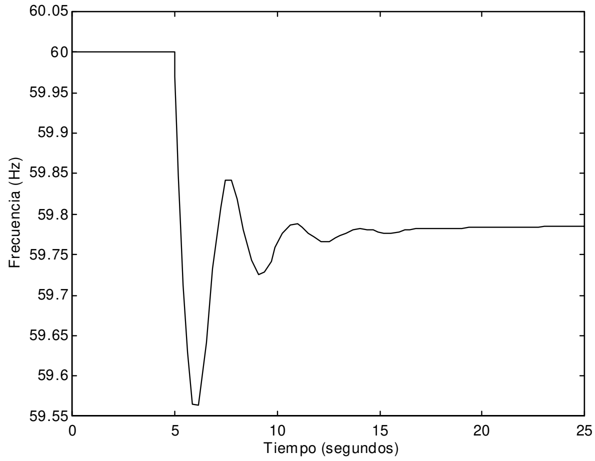

Figura 6. Respuesta de la frecuencia ante un aumento de carga

Se tiene las siguientes tablas de resultados obtenidos de las simulaciones, tanto para la potencia mecánica como para la frecuencia:

Tabla I. Resultados de potencia mecánica en la simulación de un aumento de carga

CENTRAL	**Potencia mecánica (MW)**		
	$P_{inicial}$	P_{pico}	$P_{estabilizacion}$
Gonzalo Zevallos TV1	71.5	80.5	76.75
Gonzalo Zevallos TV2	70	79	75.25
Trinitaria	130	139.5	139.5
Enrique García Gas	90	104.5	97.3
TOTAL	361.5	397	388.75

Tabla II. Resultados de frecuencias y tiempos en la simulación de un aumento de carga

Frecuencia (Hz)					
$f_{inicial}$	f_{pico}	f_{ss}	T_p (seg)	T_{ss} (seg)	SP (%)
60	59.55	59.7784	0.9903	8.1903	100.74

De los resultados obtenidos se observa que las máquinas entregan más potencia de su valor nominal, debido a que el disturbio aplicado es grande. Hay que tomar en cuenta que las dos máquinas de Gonzalo Zevallos pueden contar con un limitador de carga, lo cual obligaría a las unidades de Trinitaria y Enrique García a entregar más potencia de la normal, y por lo tanto, existe el peligro de que éstas salgan de línea, lo que haría que la frecuencia llegue hasta un valor menor a 59.2 Hz., y para evitar una reacción en cadena, actuaría el esquema de alivio de carga, pero, para este caso la frecuencia llega hasta un valor dentro del rango permisible.

Ahora se realiza el análisis con todas las unidades generando al 100% de su potencia nominal, y respetando el porcentaje de reserva del 2% para regulación de frecuencia, pero esta vez se simula un rechazo de carga de 80 MW en el sistema.

Los resultados de las simulaciones realizadas se muestran en las figuras 7 – 9.

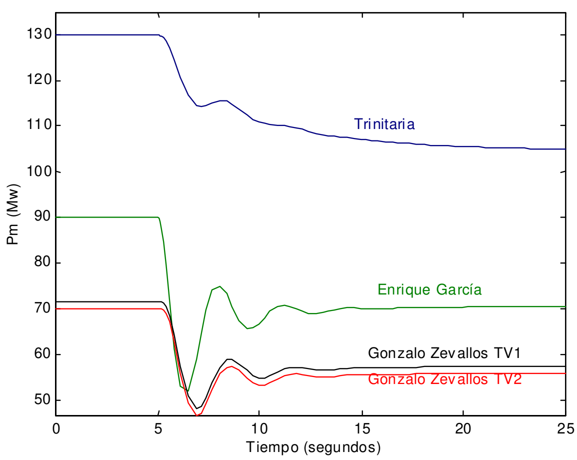

Figura 7. Contribuciones individuales de potencia ante un rechazo de carga

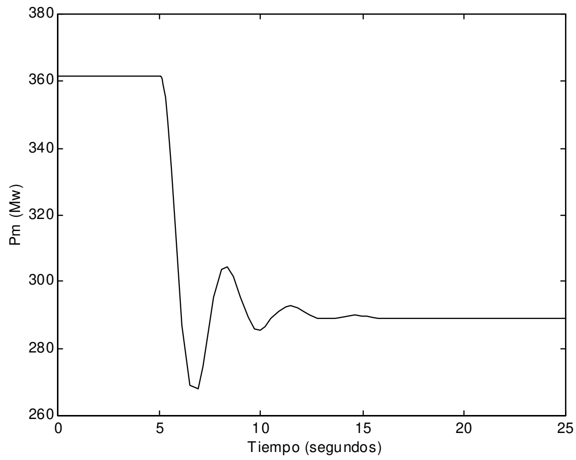

Figura 8. Contribución total de potencia ante un rechazo de carga

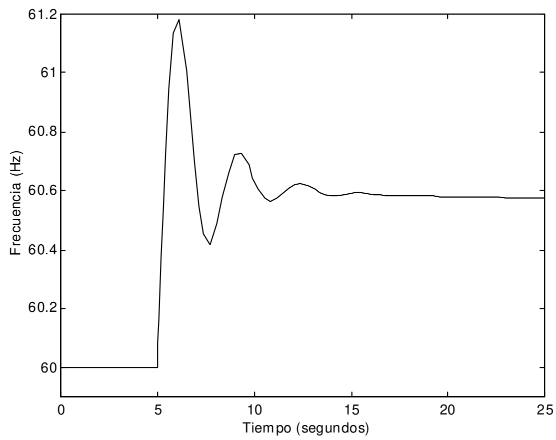

Figura 9. Respuesta de la frecuencia ante un rechazo de carga

Se tiene las siguientes tablas de resultados obtenidos de las simulaciones, tanto para la potencia mecánica como para la frecuencia:

Tabla III. Resultados de potencia mecánica en la simulación de un rechazo de carga

CENTRAL	Potencia mecánica (MW)		
	$P_{inicial}$	P_{pico}	$P_{estabilizacion}$
Gonzalo Zevallos TV1	71.5	48	57.5
Gonzalo Zevallos TV2	70	46	56
Trinitaria	130	105	105
Enrique García Gas	90	52.5	70.5
TOTAL	361.5	268	289

Tabla IV. Resultados de frecuencias y tiempos en la simulación de un rechazo de carga

Frecuencia (Hz)					
$f_{inicial}$	f_{pico}	f_{ss}	T_p (seg)	T_{ss} (seg)	*SP* (%)
60	61.18	60.575	1.141	8.6164	105.14

En la tabla de resultados se observa que según los valores de las potencias, el disturbio es un rechazo de carga bastante significativo para el sistema, sin embargo, esto no ocasiona el peligro de que las unidades salgan de línea, ya que la potencia disminuye, pero sí influye en que el valor de la frecuencia es demasiado alto en el pico, pero al estabilizarse, lo hace en un valor cercano a la frecuencia nominal.

CONCLUSIONES

En el transcurso de este Trabajo, el CENACE contrató los servicios para la determinación del porcentaje de regulación de las unidades de ELECTROGUAYAS, ELECTROECUADOR y ELECTROQUIL, que pertenecen a la misma área de influencia, encontrándose en esta última que sus cuatro unidades poseen valores del 7 al 17%. Los valores encontrados en las plantas de ELECTROGUAYAS coinciden con los datos de los fabricantes de cada una de éstas.

Con los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas se puede concluír lo siguiente:

- Como era de esperarse, la respuesta de la unidad a gas es mucho más rápida que la respuesta de las unidades de vapor, ya que su ciclo de funcionamiento es más sencillo. El tiempo en que la frecuencia (velocidad) alcanza su valor de estabilización ante un disturbio es aceptable para todas las unidades.

- La baja inercia que tienen las unidades de "Trinitaria" y "Dr. Enrique García" influye en que el valor pico de la frecuencia alcance límites de operación inapropiados en periodos cortos de tiempo ante un disturbio de grandes magnitudes, lo cual pone en peligro la permanencia de la máquina conectada al sistema.

- Gracias a su bajo porcentaje de regulación, la central "Dr. Enrique García" tiene un mayor aporte porcentual de potencia en caso de una perturbación.

- Los sistemas de control de velocidad de todas las unidades poseen los márgenes de ganancia y de fase positivos, por lo que se deduce que están dentro de los límites de estabilidad.

- Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de regulación de las unidades de ELECTROQUIL hacen que cuando éstas se encuentren conectadas al sistema, su aporte de potencia ante un aumento de carga sea insignificante, y unido este problema al limitador de máxima carga de 73 MW que poseen las dos unidades de “Ing. Gonzalo Zevallos G.”, provocan que las unidades de “Trinitaria” y “Dr. Enrique García”, que no cuentan con limitador de carga, ante un disturbio significativo, tiendan a entregar más potencia de la que normalmente deberían y producir un disparo en cada una de ellas, lo que empeoraría el problema y obligaría al CENACE a ejecutar los esquemas de alivio de carga por baja frecuencia.

En definitiva, las unidades de ELECTROGUAYAS no presentan mayores problemas en su operación como unidad propiamente dicha, pero para un mejor funcionamiento del sistema, se pueden tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Para no perjudicar el despacho económico del sistema, se debería ajustar el limitador de máxima carga de las dos unidades de “Ing. Gonzalo Zevallos G.” a 75 MW para que esta central tenga un aporte significativo para la regulación primaria de frecuencia cuando sus unidades estén generando a potencia nominal, hasta que actúe la regulación secundaria de frecuencia. En caso de no poder ajustar el limitador de carga, estas unidades pueden declararse disponibles para el despacho con una potencia de 71 MW.

- Para el caso de ELECTROQUIL, estas unidades deberían ajustar sus reguladores de velocidad a valores entre el 4 y 7% de regulación. Mientras tanto, hasta no cumplir con lo propuesto, ELECTROQUIL tendrá que comprar porcentaje para regulación primaria de frecuencia a unidades que sí cumplan con las especificaciones mencionadas.

- Se debe realizar un nuevo estudio de cálculo del porcentaje óptimo para regulación de frecuencia tomando en cuenta las especificaciones técnicas de cada unidad y lo que es más conveniente para el sistema.

Para hacer posible una mejor operación de todo nuestro sistema eléctrico, tanto el CENACE, en su función de Organismo de Control, como las empresas generadoras, deben llegar a un acuerdo que sea satisfactorio para ambas partes.

REFERENCIAS

1. J. Ochoa, E. Parodi, J. Arteaga, “Control Automático para la regulación de frecuencia en las Centrales Térmicas de ELECTROGUAYAS” (Tópico, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001).

2. F. Aboytes, Control de Frecuencia en Sistemas Eléctricos de Potencia (2da. Edición; Monterrey, México D.F., 2000).

3. M. A. Eggenberger, A simplified of the no load stability of mechanical – hydraulic speed control systems for steam turbines. ASME Paper 60-WA-34.