

Modelizado y control de un motogenerador

Fredy Alberto Sanz Ramírez
Mauricio González Agudelo

Autores

FREDY ALBERTO SANZ RAMÍREZ

Ingeniero Electricista Universidad Nacional. Especialización en Automatización, UPB. Estudiante Maestría en Ingeniería, UPB. Docente: Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid; Institución Universitaria Salazar y Herrera; Universidad Nacional; ITM. Director del grupo de investigación GEA. Correo electrónico: fredsanz@iush.edu.co

MAURICIO GONZÁLEZ AGUDELO

Ingeniero de diseño Ingeniería Especializada. Ingeniero Electricista, Universidad Nacional. Especialista en Automatización UPB. Correo electrónico: mauricio.upb@gmail.com

Resumen

En este texto se pretende presentar la modelación, control y los efectos del periodo de muestreo de un sistema compuesto por un motogenerador, donde la variable manipulada es el voltaje de armadura y la variable controlada es la velocidad. Con la herramienta Real Matlab se obtuvieron los datos del sistema durante las pruebas estáticas y dinámicas para la obtención del modelo de la planta y observar el comportamiento de la variable de salida frente al control aplicado y las variaciones del periodo de muestreo.

Palabras clave

BIAS, control, modelo, periodo de muestreo, zona lineal

Abstract

the aim text of this tried is to present the modeling, control and the effects of the sampled period of system made up of a motogenerator, where the manipulated variable is the armor voltage and the controlled variable is the speed. Data acquisition was performed using Real-Matlab tools during the static and dynamic tests to obtain a plant model and to observe the behavior of the exit variable in front of the applied control and the variations of the sampled period.

Key Words

BIAS, control, model, sampled period, linear zone

Modelizado y control de un motogenerador

Fredy Alberto Sanz Ramírez
Mauricio González Agudelo

POLITÉCNICA No. 5

agosto - diciembre de 2007, pp. 105 - 113

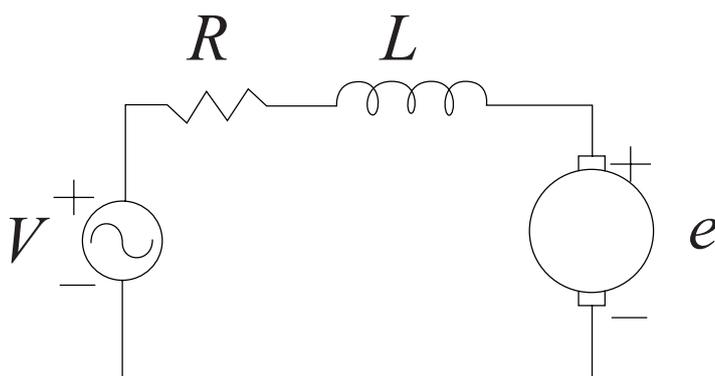


Figura 1. Modelo circuital de un motogenerador

1. Introducción

A partir de las tendencias actuales del control automático de máquinas y dispositivos, se han tomado como parte del análisis, los estudios de las herramientas de predicción a través de la modelación, para observar el comportamiento de ellos, frente a condiciones de funcionamiento que pueden variar en relación a la señal aplicada y de esa forma poder determinar cuáles son los correctivos que el control a implementar debe subsanar.

El caso estudiado trata de un motogenerador para el cual desea mantenerse el voltaje de armadura dentro de valores tolerables, puesto que dicha variable es un factor importante en los sistemas de potencia dado que al momento de acoplarse con sistemas interconectados de energía, la estabilidad de estos dependerá en gran medida de ello.

Un modelo circuital simple de los parámetros de un motogenerador puede ser apreciado en la figura 1.

Donde:

R: Resistencia eléctrica

L: Inductancia eléctrica

V: Voltaje de armadura

e: Voltaje generado

2. Modelo estático (rampa lenta) y dinámico (respuesta al escalón)

La entrada o la variable manipulada del sistema del motogenerador es el voltaje de armadura y la salida o variable controlada del sistema es la velocidad del motor. A continuación se presentan las pruebas realizadas para obtener el modelo de la planta.

2.1 Modelo estático

Para obtener el modelo estático se realiza una prueba con variación de la entrada en forma de rampa lenta, de tal forma que la salida fuera estable en cada punto de la rampa de entrada. Con los datos de entrada y salida de la prueba se obtiene la curva que expresa dicho comportamiento, ver figura 2.

A partir de la figura 2 se determinó la zona lineal entre las coordenadas de entrada y salida (790[V], 90[T-1]) y (957[V], 160[T-1]), rango donde la relación presenta una mayor linealidad. Adicionalmente se estableció el punto de operación Q en un punto intermedio de la zona lineal dado por (870[V], 125[T-1]) a través del cual se selecciona un BIAS (valor de entrada a la planta para que trabaje en el punto de operación) de 870[V].

Una vez determinada la zona lineal se encuentra la ganancia de la salida respecto a la entrada para construir el modelo estático de la planta. El valor hallado mediante interpolación en la zona lineal es:

$$K = 0.4186 \text{ [T-1]/[V]}$$

2.2 Modelo dinámico

Para obtener el modelo dinámico se realiza una prueba con variación de la entrada en forma de escalón para observar el comportamiento

dinámico de la variable controlada, el cual proporciona los parámetros para la construcción del modelo dinámico de la planta. Con los datos de entrada, salida y del tiempo de la prueba se obtiene la figura 3.

El escalón aplicado a la entrada fue de 80[V], pero debe tener en cuenta que la entrada al motor se encontraba en el punto BIAS y la velocidad del motogenerador en un valor de 136[T-1]

Escalón de entrada (Superior)

El escalón fue aplicado en un tiempo de 10s donde alcanzó un valor de 950[V], mientras que la velocidad del motor (salida) alcanzó un valor de estabilización de 166 [T-1] generándose entonces una variación en la salida de 30[T-1].

La obtención del modelo dinámico de la planta se centra en encontrar el tiempo Δ , que es aquel en el que la salida logra un 63.2% de su variación frente a un escalón en la entrada a partir de su aplicación.

Considerando que la variación de la salida (ΔY) = 30[T-1]

Por tanto el $63.2\% \Delta Y = 18.96[T-1]$, para un tiempo de aplicación del escalón de 10s

De acuerdo con lo anterior, el valor inicial de la variable de salida y los datos suministrados, el tiempo Δ hallado es:

$$t = 1.26 \text{ s}$$

Con los parámetros del modelo estático y modelo dinámico se consigue el modelo completo de la planta por función de transferencia, que en forma general se representa de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

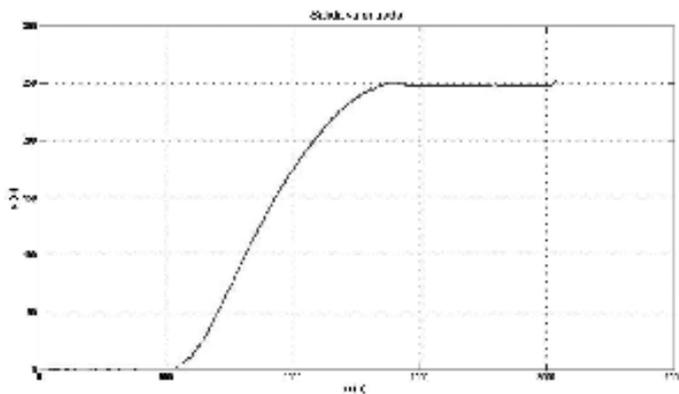


Figura 2. Curva estática (Salida Vs. Entrada)

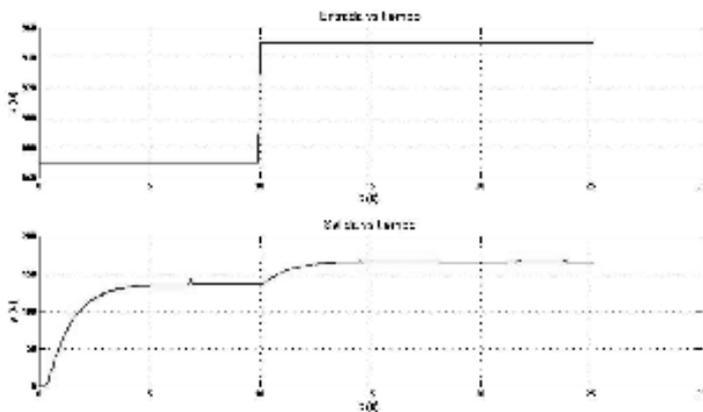


Figura 3. Curva dinámica (Inferior)

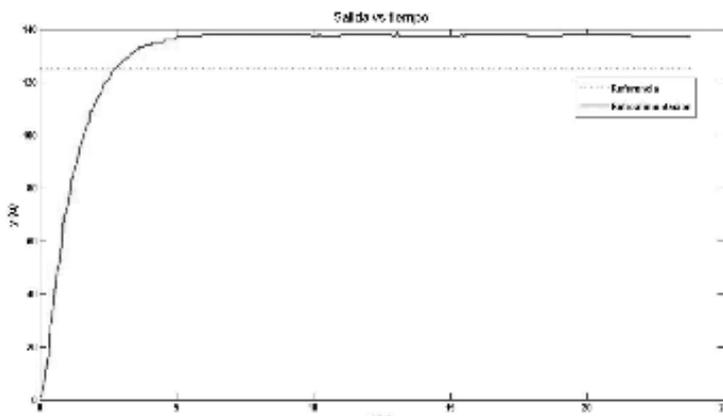


Figura 4. Salida con control de lazo abierto

Para el caso de estudio, el modelo completo es el siguiente:

$$G(s) = \frac{0.4186}{1.26s + 1}$$

3. Control de lazo abierto y control p+i

En esta parte se realiza en primera instancia la implementación del control de lazo abierto, luego se agregó el control proporcional y por último se adiciona el control integral.

3.1 Control de lazo abierto

Este control se basa en la idea de alimentar la planta con la inversión de la ganancia de la salida con respecto a la entrada, teniendo en cuenta que esto aplica dentro de la zona lineal seleccionada. En este caso el elemento de control es un bloque de ganancia en serie con la planta, cuyo valor es el inverso de K:

$$K_{LA} = 1/K = 2.38$$

En la Figura 4 se observa la respuesta de la velocidad del motor con la aplicación del control de lazo abierto.

Claramente se puede extraer un error de estado estable que es causado por los factores de linealidad, aproximación y adquisición de datos, además no existe algún elemento que tenga memoria y elimine este error siguiendo la variable. La referencia estaba en $125[T-1]$ y la salida con control de lazo abierto se estabiliza en un valor de $138[T-1]$ lo cual representa un error del 10,4%.

Otro aspecto a tratar con el control de lazo abierto es el BIAS debido a que se adiciona, una ganancia a la entrada, que representa una mayor salida, si el valor del BIAS se conserva, de esta manera se debe reacondicionar su valor de acuerdo a la ganancia de lazo abierto. El nuevo BIAS corresponde a la diferencia entre el valor inicial y la entrada que corresponde al valor de referencia de la salida, obteniéndose un BIAS de $572.5[T-1]$.

3.2 Control P+I

Inicialmente se implementa un control proporcional realizando realimentación de la salida y hallando el error respecto al valor de referencia, el cual es la entrada al controlador, dejando el control de lazo abierto activo porque son sistemas sinérgicos que no afectan el desempeño de los demás, por el contrario aportan al control de la velocidad. En la figura 5 se observa la respuesta de la velocidad del motor con la aplicación del control proporcional y control de lazo abierto.

Al observar el comportamiento en estado estable de la salida, se consigue identificar una disminución del error frente al valor de referencia, y esto se logra con la inclusión del control proporcional que está monitoreando el error y lo está restituyendo a la entrada del sistema del motogenerador. En este caso el error en estado estable es del 4% con respecto a la referencia de la salida.

Luego de implementar el control proporcional, se agrega un elemento más que es el control integral que representa un elemento con memoria que persigue la variable controlada hasta que la lleva al valor deseado. En la figura 6 se muestra la respuesta de la velocidad del motor con la aplicación del control proporcional e integral y control de lazo abierto.

Finalmente, con el control integral el error en estado estable se elimina completamente y se evidencia que frente a cambios en el valor de referencia, la salida logra llegar a su objetivo y dependiendo de la magnitud del cambio, el sobreimpulso y el tiempo de estabilización serán diferentes.

Debe quedar claro que el control integral elimina el error en estado estable sin importar el tiempo que tarde éste, logra llevar la variable de salida al valor de referencia. Respecto a esto se realiza una perturbación al motogenerador para observar el comportamiento de la salida y en la figura 7 se muestra el resultado.

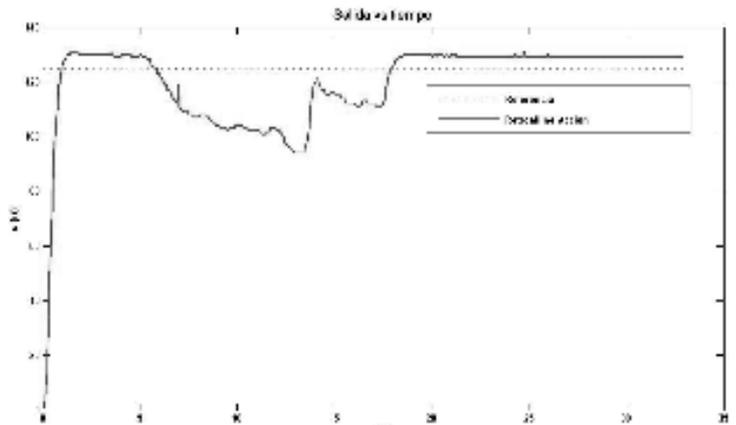


Figura 5. Salida con la adición del control proporcional a la planta

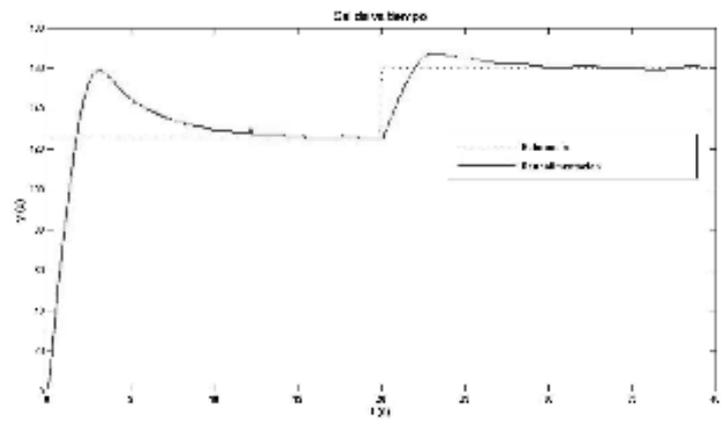


Figura 6. Salida con la adición del control integral a la planta

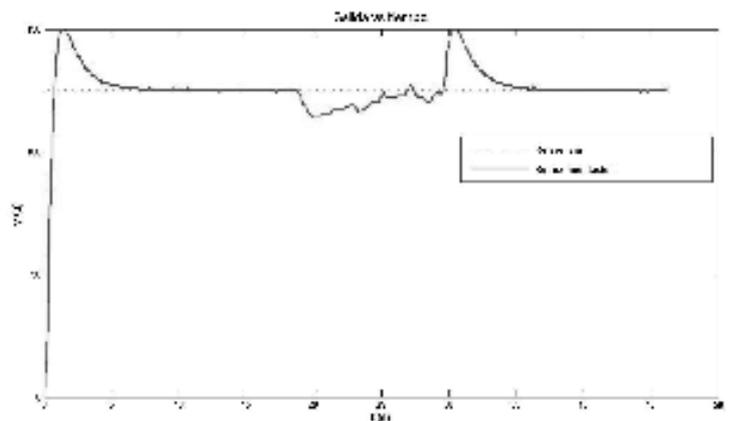


Figura 7. Salida con la adición del control integral a la planta frente a una perturbación

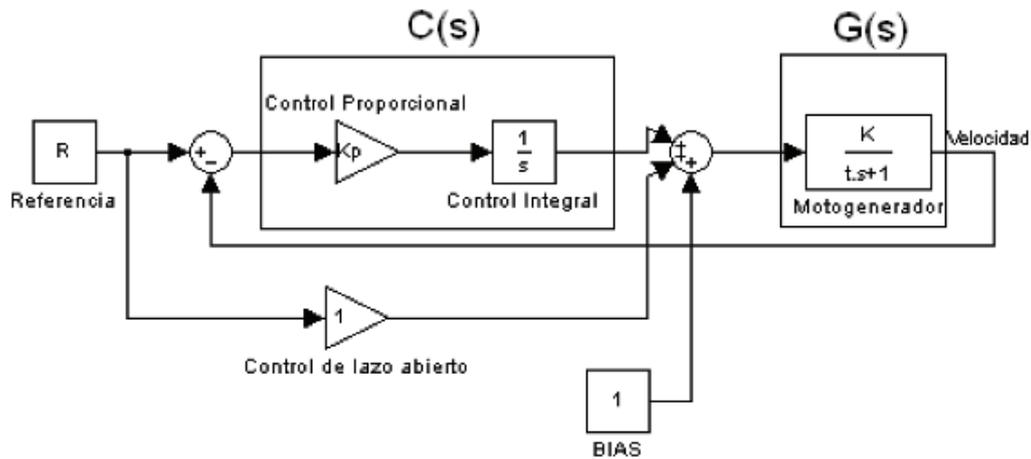


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema completo

Primero se observa el comportamiento inicial al momento del arranque y posteriormente su estabilización, luego se introduce la perturbación y la velocidad del motor comienza a incrementarse hasta alcanzar el valor de referencia de $125[T-1]$. Debe tenerse en cuenta que todo tiene un costo, porque esta recuperación frente a una perturbación sea permanente o no implica mayores esfuerzos en el actuador. Finalmente, el diagrama de bloques del sistema completo con el control se presenta en la figura 8.

4. Modelo de referencia

En esta parte del experimento, lo que se busca es poder manipular el comportamiento de la salida, imponiendo restricciones mediante un modelo construido a partir de los parámetros que se desea conseguir y el modelo integrado del controlador y la planta. Este modelo se denomina "modelo de referencia" y en este caso se intenta controlar el sobreimpulso y el tiempo de estabilización para una tolerancia dada de la salida. El resultado de esta manipulación es el diseño de un controlador arbitrario con parámetros que dependen de las restricciones y el modelo de la planta.

El modelo de referencia es el modelo que representa el sistema completo (Control PI y Planta) en un solo bloque y está dado por:

$$\text{Modelo de referencia } MR(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

En el caso concreto de la práctica se trabaja con un modelo de referencia que cumpla con un sobreimpulso ($\% \mu_p$) del 20% y un tiempo t_s (tiempo en alcanzar una franja de tolerancia de la variable de salida) de 3s con una tolerancia en la salida del 2% con respecto al valor de referencia.

A partir de la relación del modelo de referencia y el modelo de la planta, para estos parámetros se obtiene el siguiente modelo del controlador:

$$C(s) = \frac{11.21s + 8.9}{0.42s^4 + 2.27s^3 + 6.8s^2 + 10.1s}$$

En la figura 9 se observa la respuesta de la velocidad del motor, con la aplicación del controlador obtenido, a partir del modelo de referencia.

Con los datos obtenidos al aplicar el controlador del modelo de referencia se calculó un sobreimpulso ($\% \mu_p$) del 20.8% y para un tiempo t_s de 3s la variable de salida ingresa en una zona de tolerancia del 8%. Las diferencias que se presentan en los parámetros respecto a los establecidos en la obtención del modelo de referencia son causadas por retardos en los tiempos muertos dentro del sistema, la incertidumbre en la variable de medida, el tratamiento numérico del sistema de adquisición de datos, etc.

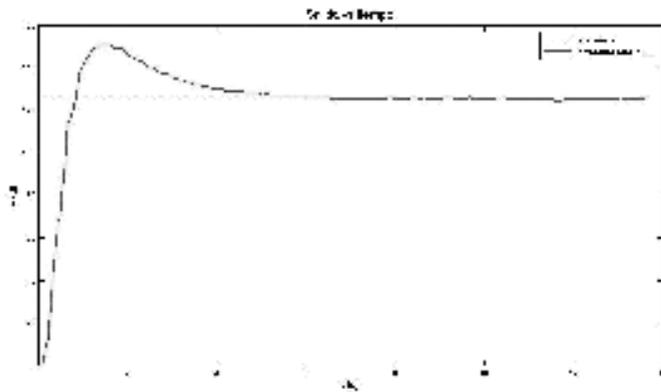


Figura 9. Salida con la aplicación del controlador del modelo de referencia

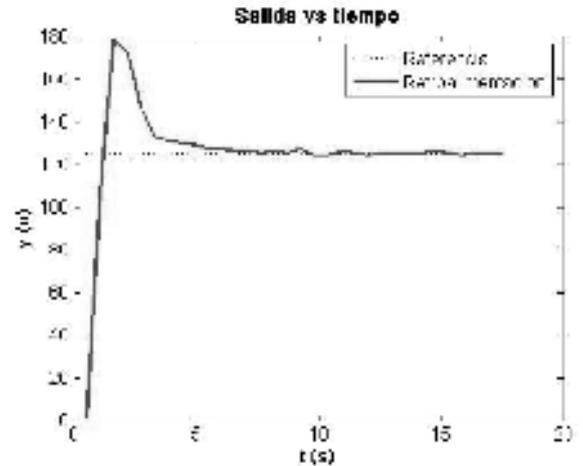


Figura 10. Salida al primer incremento del periodo de muestreo

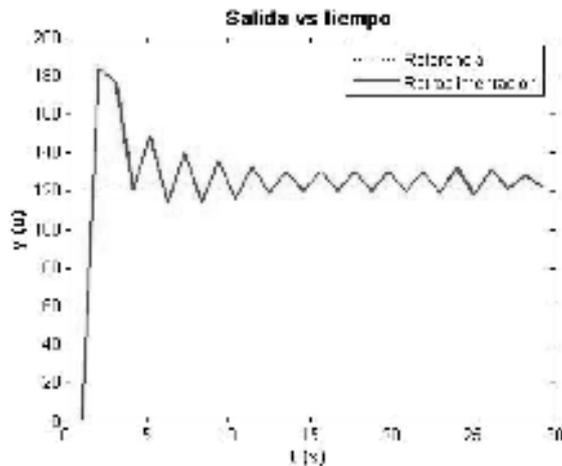


Figura 11. Salida al segundo incremento del periodo de muestreo

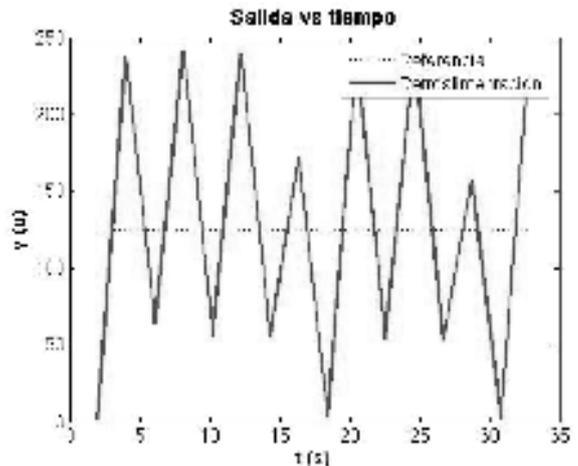


Figura 12. Salida al tercer incremento del periodo de muestreo

En general el control por modelo de referencia presentó buenos resultados, pues es una forma de controlar con mucha flexibilidad y adaptabilidad a los sistemas.

5. Efectos del periodo de muestreo

Dadas las condiciones de control iniciales se selecciona un periodo de muestreo de 50ms, donde se observa que los efectos del control cumplen satisfactoriamente con la estabilización de la variable manipulada con respecto al valor de referencia, como se muestra en la figura 8, (con la aplicación del controlador del mo-

delo de referencia con un periodo de muestreo de 50ms).

Posteriormente, se aumenta gradualmente el paso del periodo de muestreo para determinar cuál es el efecto que se presenta al disminuir el numero de puntos que el controlador vería, lo que implica mayor incertidumbre al momento de efectuar acciones sobre la variable controlada. Para el primer cambio del paso se observa en la figura 10, que aún así se logra la estabilidad. Sin embargo, la curva es un poco menos suave que la inicial, dado que son menos puntos los considerados para la construcción de la grafica.

Al incrementar nuevamente el paso, los efectos se hacen mas evidentes (Ver figura 11), ya

que el sistema se torna más inestable, dado que se presenta un rango de oscilación con respecto a la salida, dicho efecto pareciera desaparecer con el tiempo, aunque realmente es incierto.

Finalmente a medida que el periodo de muestreo se incrementa, el sistema se torna mucho más inestable, mostrando la incapacidad del controlador para mantener la variable controlada dentro de un rango razonable con respecto a la referencia, debido a la insuficiente información que posee sobre el estado de la misma, dicho fenómeno es visible en la figura 12 por lo tanto, no es difícil concluir que el incremento del paso del periodo de muestreo tiene como efecto desestabilizar el sistema.

Conclusiones

- El control integral permite eliminar el error de estado estable del motogenerador sin importar el valor que tarde éste logra llevar la variable de salida al valor de referencia

- En control por modelo de referencia presenta buenos resultados y resulta ser una forma de controlar con mucha flexibilidad y adaptabilidad a los sistemas

- A medida que el periodo de muestreo se incrementa, el sistema se torna mucho más inestable, mostrando la incapacidad del controlador para mantener la variable controlada dentro de un rango razonable con respecto a la referencia, debido a la insuficiente información que posee sobre el estado de la misma

Bibliografía

1. ALFARO, Víctor. *Aproximaciones del tiempo muerto para estudios de control*, Costa rica. 2003.
2. CASANOVA, Vicente. *Sistemas de control basados en red. Modelado y diseño de estructuras de control*. 2005. <http://www.upv.es/pls/oalu>. (Consultado en línea el 13 de abril de 2006, 8:00 pm)
3. KUO, Benjamin. *Sistemas de control automático*. Prentice hall Hispanoamérica, S.A. Irwin Sucker. México 1995.
4. OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderno*. Prentice hall Hispanoamérica, S.A. Tom Robbins. México. 1997
5. UMEZ, Eronini. *Dinámica de sistemas y control*. Thomson learning. Patricia Pantoja. México. 2001

