

# **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE FRECUENCIA Y VOLTAJE UTILIZANDO MATLAB”**

Maria Antonieta Álvarez Vullanueva<sup>1</sup>, José Luis González Rugel<sup>2</sup>, Juan Del Pozo Lemos<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones 2005.

<sup>2</sup>Ingeniero Eléctrico Especialización Electrónica Industrial 2005.

<sup>3</sup>Director de Tópico, Ingeniero en Electricidad, ESPOL,1968. Postgrado en Ingeniería Eléctrica 1971, Master of Science in Electrical Engineering, 1978, Profesor Principal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación.

## **RESUMEN**

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema de control automático basado en la generación de corriente eléctrica, controlando dos parámetros: voltaje y frecuencia de la carga final; por medio de dos variables de control que son: voltaje de campo del generador y la velocidad del motor.

El sistema tiene una característica intrínseca al ser un sistema multivariable con lazo cruzado, esta característica propia de muchos sistemas industriales es el centro de estudio, donde el objetivo será conocer la relación existente entre las variables y determinar la forma de controlar un sistema de lazo cruzado.

Para el análisis del sistema y su respectivo control en lazo cerrado utilizaremos herramientas basado en plataforma windows (MatLab 6.5 y SIMULIK), así como cada una de las facilidades y comandos que estos software nos ofrecen; ingresando a la nueva tendencia de control mediante computadoras, lo cuál nos ayuda a disminuir costo de instalación y aumentar la velocidad de trabajo y confiabilidad del proceso.

Del presente estudio se obtiene prácticas para el laboratorio de Control Automático, con la finalidad que el estudiante de la ESPOL tenga la oportunidad de conocer y controlar de forma física un sistema multivariable con lazo cruzado, ejecutando las técnicas de control y viendo sus efectos dentro de un sistema real. Este proyecto también es la base para próximos estudios que deseen profundizar sobre los sistemas multivariable o su control.

## **SUMMARY**

The present work describes the development of a system of automatic control based on the generation of electric current, controlling two parameters: voltage and

frequency of the final load; by means of two control variables that are: voltage of field of the generator and the speed of the motor.

The system has an intrinsic characteristic to the being a system multi - variable with knot crusader, this characteristic that exit in many industrial systems is the study center, where the objective will be to know the existent relationship among the variables and to determine the form of controlling a system of knot crusader.

For the analysis of the system and their respective control in closed knot will use tools based on platform windows (MatLab 6.5 and SIMULIK), as well as each one of the facilities and commands that these software offers us; entering to the new control tendency by means of computers, this helps us to diminish installation cost and to increase the work speed and dependability of the process.

Of the present study it is obtained practices for the laboratory of Automatic Control, with the purpose that the student of the ESPOL has the opportunity to know and to control multi in a physical way a system - variable with knot crusader, executing the control techniques and seeing her effects inside a real system. This project is also the base for next studies that want to deepen on the systems multi - variable or its control.

## **INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de automatización por software son hoy en día el mejor ejemplo de control y cuya utilización se encuentra en aumento en el mercado por las facilidades que brinda tales como: bajo costo de operación, exactitud y velocidad en el trabajo.

El sistema a utilizar consta de dos variables de control y dos variables controladas, también llamado sistemas multivariable. Estos sistemas tienen una características de relación entre las variables propia del proceso, esta relación deberá ser antes eliminada para poder controlarlo, por medio de un desacoplador el cuál esta compuesto por constantes obtenidas de manera analítica que separa la dependencia de las variables permitiendo así un control de las mismas.

Nuestro sistema realizado bajo MatLab el cuál es un software que nos permite realizar operaciones matemáticas a gran velocidad, junto con SIMULINK el cuál nos permite simular procesos por medio de bloques; controlará un proceso real valiéndose de las herramientas de control automático y determinando el correcto controlador PID de forma analítica y empírica, que nos permita obtener la exactitud y velocidad deseada en el proceso real.

Para poder controlar cualquier proceso antes debemos poder medir las variables del mismo, para conocer la condición del proceso real. El levantamiento de las variables de campo y su control se la realizará por medio de un computador; siendo esta una actividad de control remoto muy utilizada dentro de la industria.

# CONTENIDO

## 1. SISTEMA A CONTROLAR

Nuestro sistema de generación de energía eléctrica, utiliza dos equipos principales: el motor y el generador. El motor será el responsable de proporcionar la fuerza motriz del eje del generador que para nuestro caso utilizaremos un alternador de carro, realizar un sistema como se muestra en la figura 1.1

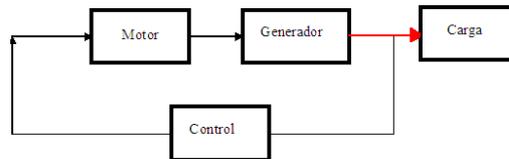


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE GENERACION

Se realizó en estudio de cada equipo obteniendo su función de transferencia matemática y unificándola como se muestra en la figura 1.2

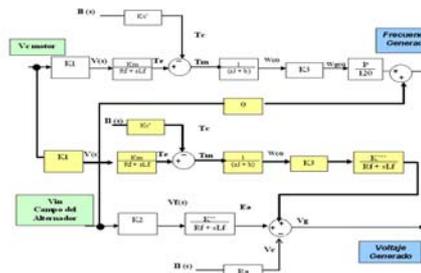


FIGURA 1.2 SISTEMA A CONTROLAR CON RELACION ENTRE VARIABLES

Esta información obtenida de forma individual por equipos que intervienen dentro del sistema y unificado, por medio de dos herramientas de informática que son: MatLab y Simulink, observamos las relaciones entre las variables de control y las controladas identificando que nuestro sistema mantiene una característica de lazo cruzado como se muestra en la figura 1.3

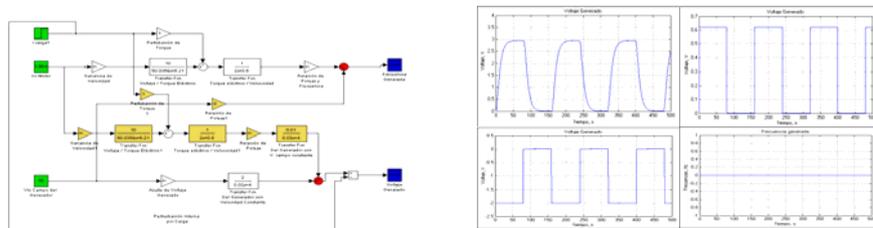


FIGURA 1.3 SISTEMA TEORICO EN MATLAB

Dados los estos análisis nos damos cuenta que la generación de voltaje y frecuencia son estables, variando cualquiera de las dos variables de control. La variable de velocidad del motor afecta tanto al voltaje generado como a la frecuencia generada, y que la variable de voltaje de campo del generador sólo afecta al voltaje generado de manera instantánea. La perturbación afecta indirectamente a la frecuencia generada y al voltaje generado, siendo este último más afectado en magnitud y tiempo.

## 2. SISTEMA A CONTROLAR

El motor AC de forma matemática presenta una gran complejidad, Simulink nos permite realizar modelos de procesos reales por medio de diagramas de bloques gráficos, bajo una programación orientadas a objetos donde cada bloque tiene sus propias características y propiedades que unificadas simulan un proceso real, figura 2.1

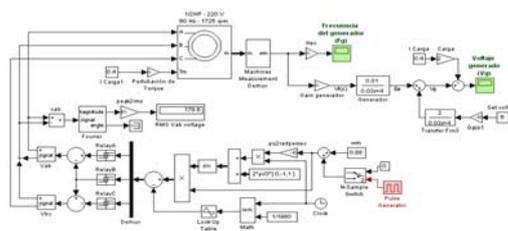


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA EN SIMULINK

Se utilizaron los datos obtenidos de las funciones de transferencia del capítulo uno simulando el sistema y observando sus comportamiento bajo condiciones de perturbaciones que pueden existir (figura 2.2).

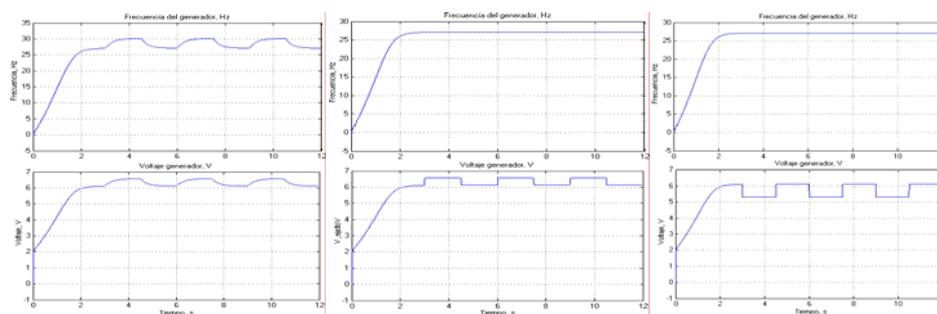


FIGURA 2.2 GRAFICAS DEL SISTEMA EN SIMULINK

Las simulaciones muestra que las relaciones entre las variables manipuladas y las variables controladas se mantienen al igual que en el capítulo uno; esta simulación se acerca de manera más precisa a las curvas de las variables de la planta real.

### 3. PRUEBA DE CAMPO

A continuación se obtiene de cada uno de los equipos del sistema sus datos de placa y curvas de trabajo reales; por medio de las curvas de trabajo se obtiene el valor de relación entre una variable y otra, figura 3.1.

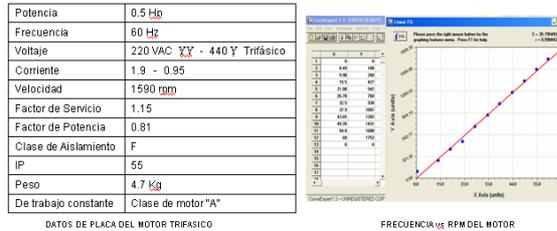
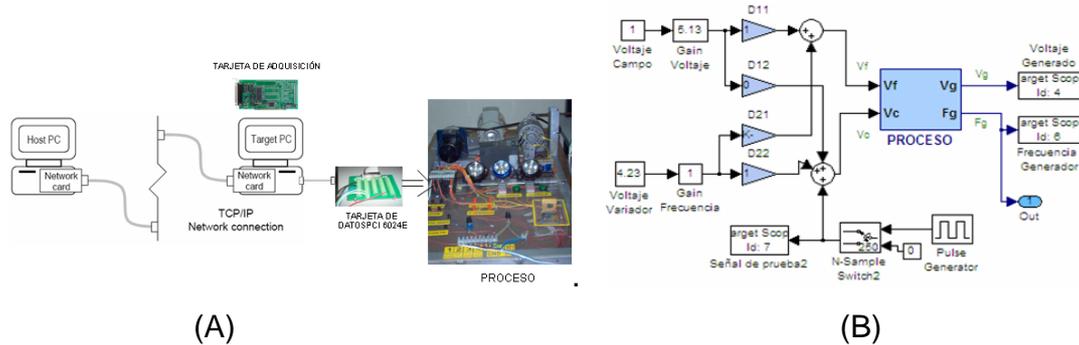


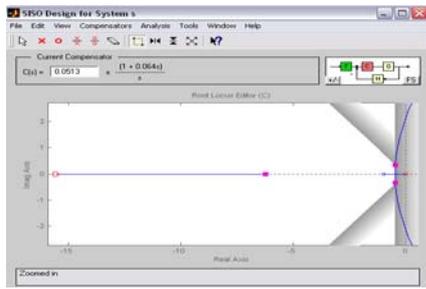
FIGURA 3.1 DATOS DE EQUIPOS

Usando equipos de medición en lazo abierto, son ingresadas las señales al computador por medio de la tarjeta de comunicación de marca National Instrument, XPC Target, con cuyos datos se calculó el desacoplador de variables ya que nuestro sistema es un sistema con características de lazo cruzado, figura 3.2

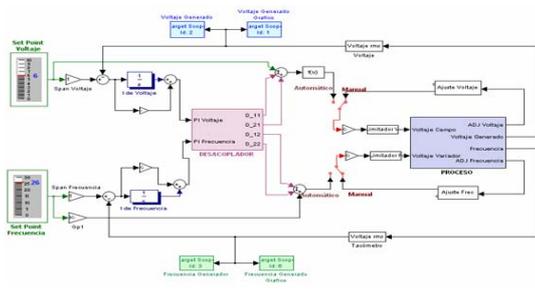


3.2 (A) SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS; (B) SISTEMA CON DESACOPLADOR

Una vez obtenido e instalado el desacoplador en el sistema procedemos a obtener el controlador indicado que nos permitirá mantener el sistema estable con la mayor exactitud y velocidad posible; por medio mecanismo analítico (figura 3.3) y empírico (figura 3.4).

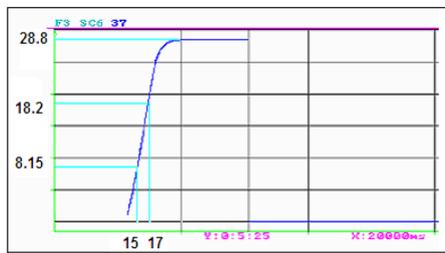


(A)

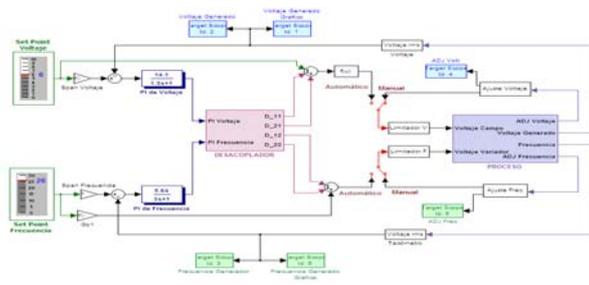


(B)

FIGURA 3.3 (A)METODO DE CONTROLADOR ANALITICO; (B)SISTEMA CON PI ANALITICO



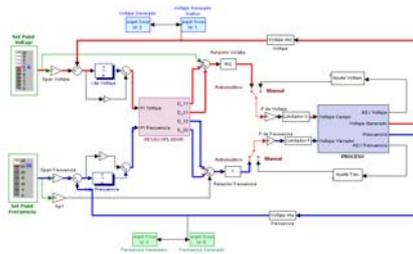
(A)



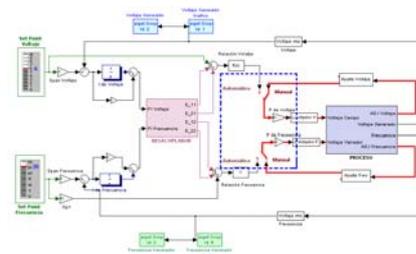
(B)

FIGURA 3.4 (A)METODO DE CONTROLADOR EMPIRICO; (B)SISTEMA CON PI EMPIRICO

Al tener el sistema completo se procede a realizar las pruebas de control de forma manual y automática (figura 3.5); obteniendo las gráficas con los valores deseados de voltaje y frecuencia generada, figura 3.6.



(A)



(B)

FIGURA 3.5 (A) FLUJO DE SEÑALES MODO AUTOMATICO; (B) FLUJO DE SEÑALES MODO MANUAL

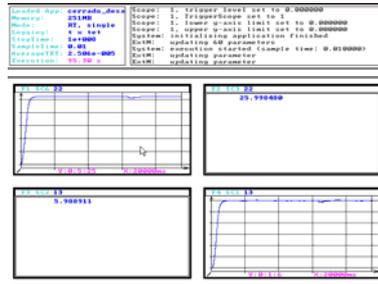
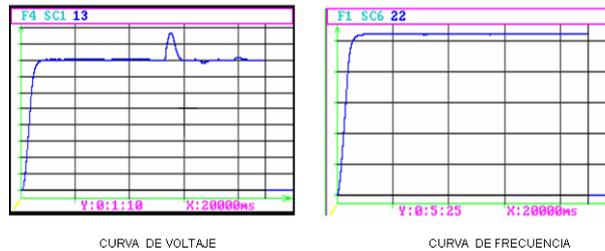


FIGURA 3.6 GRAFICAS DEL SISTEMA

#### 4. Comportamiento del Sistema frente a cambio de seteo y carga

Ponemos a prueba nuestro sistema, verificando su comportamiento y control frente a cambios de niveles de seteo (figura 4.1) y de valores de carga (figura 4.2); identificando así sus valores límites de trabajo y su característica en sistemas reales.

- Set point Voltaje: 8 V<sub>cc</sub>
- Set point Frecuencia: 26 Hz

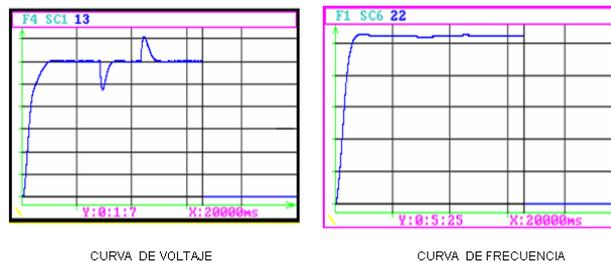


CURVA DE VOLTAJE

CURVA DE FRECUENCIA

FIGURA 4.1 SEÑALES FRENTE A VARIACION DE SET POINT (SERVO CONTROL)

- Set point voltaje: 6 V<sub>dc</sub>
- Set point frecuencia: 26 Hz
- Carga: 8W



CURVA DE VOLTAJE

CURVA DE FRECUENCIA

FIGURA 4.2 SEÑALES FRENTE A VARIACION DE CARGA (CONTROL REGULADOR)

## 5. Prácticas experimentales

Para finalizar se crearon las prácticas de laboratorio que se podrán realizar con el modelo físico de generación (figura 5.1), cada práctica tiene su objetivo de enseñanza y el afán de aumentar la habilidad y destreza de los estudiantes frente a procesos de control automático. La práctica uno es una introducción a los sistemas de MatLab y SIMULINK, trabajando con sistemas teóricos. La práctica dos y tres hablan del sistema de lazo cruzado característica intrínseca de nuestro modelo y de cómo obtener el controlador apropiado de forma analítica y empírica.



FIGURA 5.1 MESA DE TRABAJO PARA PRACTICA DE LABORATORIO

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Después de haber realizado todas las pruebas teóricas y práctica de nuestro sistema de generación de voltaje y frecuencia por medio de MatLab, podemos llegar a las siguientes conclusiones del sistema estudiado:

- En un sistema multivariables lo primero que debemos conocer antes de ejecutar un control es el nivel de acoplamiento entre las variables del sistema. En caso de variables con un índice alto de acoplamiento no es posible su control sin antes desacoplarlos. El desacoplador obtenido de forma analítica por medio de ganancias (matriz), independiza las señales.
- En nuestro sistema los valores máximos de trabajo son limitados por los valores máximos permitidos por la tarjeta electrónica Pc-6024-E. Estos valores máximos del sistema son: 9 VDC de seteo de voltaje y 28 HZ de seteo de frecuencia. En caso que se desee aumentar el seteo se debe modificar en los circuitos electrónicos de adecuación de señales las relaciones entre valor obtenido del sistema físico y valor que ingresa al computador, permitiendo un mayor rango de variación de trabajo.

- El método empírico para obtener el controlador es muy utilizado para sistemas en los cuales es muy complejo obtener el modelo del sistema, facilitando los cálculos pero tiene las limitaciones:
  - No puede realizar pruebas con varios tipos de señales.
  - Es menos exacto.
  - Se basa en el método de prueba y error.
  - Depende mucho del criterio de la persona.
  - Depende las pruebas de las facilidades de los equipos.
  
- El método analítico, el cuál es utilizado una vez obtenido el modelo del sistema, por nuestro caso utilizamos la herramienta SYSTEM APPLICATION para obtener el modelo obteniendo las siguientes ventajas frente al empírico:
  - Puedes hacer prueba con diferentes señales.
  - Las pruebas no depende de las facilidades de los equipos.
  - El controlador se basa a condiciones definidas (sobre nivel porcentual, tiempo de estabilización, etc.)
  - Es más exacto
  - Permite ver el comportamiento del sistema frente a modificaciones del controlador de forma inmediata.

Las recomendaciones del sistema son:

- En sistema de multivariables es aconsejable primero analizar los índices de interacción de variables antes de realizar un lazo cerrado. Para poder controlar el sistema primero se deben desacoplar y luego obtener el controlador.
  
- Para sistemas donde puedan obtener el modelo se recomienda obtener el controlador de forma analítica. Los valores de tiempo estabilización y sobre nivel porcentual, deben ser colocados tomando en cuenta las limitaciones físicas que puede tener el sistema.
  
- El primer paso para controlar es medir, por lo cuál se recomienda seleccionar bien los sensores del sistema, tomando en cuenta niveles de señales, ruido y forma de transmitir. Proteger siempre la tarjeta de entrada de señal al computador por medio de circuitos electrónicos de adecuación y limitación de señales, evitando que por una mala maniobra ingrese una señal no deseada que afecta la tarjeta.