

Identificación de Sistemas aplicada a un Sistema Amplificador de Voltaje para radio frecuencia

Alonso I. Lema Méndez ⁽¹⁾, Ricardo J. Solano Jara ⁽²⁾, César A. Martín Moreno ⁽³⁾
Ing. En Electrónica y Telecomunicaciones ⁽¹⁾, Ing. En Electrónica y Telecomunicaciones ⁽²⁾,
Ing. Electrónico ⁽³⁾, Profesor

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

Israel_N_1@hotmail.com, javicoriky@hotmail.com, cmartin@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de la identificación de la función de transferencia para un sistema amplificador de voltaje para radio frecuencia. El proceso bajo estudio requiere de la obtención de la estructura y parámetros de su modelo matemático, ya que este reproduce con suficiente exactitud las características dinámicas del mismo.

El objetivo de la identificación de sistemas es optimizar la operación y el control de un proceso, y consiste en hallar una expresión que representa matemáticamente la planta por medio del tratamiento adecuado de los datos experimentales que se obtienen en pleno funcionamiento, luego de diseñar y aplicar una señal de entrada que cumple con las características adecuadas y restricciones necesarias para una buena identificación. Se utiliza un sistema de adquisición de datos para capturar los datos de interés y almacenarlos, y como parte del procesamiento se necesita definir la estructura del método de predicción.

Finalmente, es posible obtener mejoras en la respuesta del sistema sin necesidad de cambiar elementos de la planta. Para ello es necesario realizar un análisis de control de la planta para determinar si es necesario o no el diseño de un controlador.

Palabras Claves: *Amplificadores, modelo matemático, identificación de sistemas, métodos de predicción de error.*

Abstract

This paper describes the development of the identification of the transfer function for a voltage amplifier for radio frequency. The process under study requires obtaining the structure and parameters of the mathematical model, since this reproduces with sufficient accuracy the dynamic characteristics of it.

The objective of system identification is to optimize the operation and control of a process, is to find a mathematical expression representing the plant through the proper treatment of experimental data obtained in full operation, then design and implement an input signal that meets the appropriate characteristics and restrictions necessary for proper identification. It uses a data acquisition system to capture and store data of interest, and as part of processing is needed to define the structure prediction method.

Finally, it is possible to obtain improvements in the response of the system without changing elements of the plant. This requires an analysis of the plant control is necessary to determine whether or not the design of a controller.

Keywords: *Amplifiers, mathematical modeling, system identification, prediction error methods.*

1. Introducción

En este trabajo presentamos la aplicación de un método de Identificación de Sistemas, tanto en sus aspectos teóricos como en los de implementación mediante el uso de software interactivo. La ejecución de esta técnica se hace sobre un Circuito Detector de RF.

Es necesario conocer las variables de salida y entrada del proceso en condiciones de funcionamiento. Para esto se requiere de un experimento que permita medir los datos de entrada y salida más representativos, considerándose como tales aquellos que describan la dinámica natural del proceso. Las mediciones son registradas por medio de un sistema de adquisición de datos conectado a una computadora, el cual con la ayuda de un software de alto nivel puede programarse para capturar los datos de interés, así como almacenarlos y procesarlos.

La etapa final de la identificación consiste en hallar un modelo que representa el funcionamiento de la planta. El criterio de la identificación consiste en evaluar quien de la familia de modelos candidatos se adapta y describe mejor la observación de los datos.

2. Descripciones generales

2.1. Proceso a identificar

En este trabajo se presenta la Identificación de Sistemas como una técnica que tiene la finalidad de obtener un modelo matemático de un proceso, que mejor se aproxime al modelo real del mismo. Un amplificador de voltaje es el proceso elegido para realizar la tarea de identificación, y la aplicación presentada consiste en la implementación de un Circuito Detector de RF, el mismo que está compuesto de las etapas mostradas en la Figura 1.

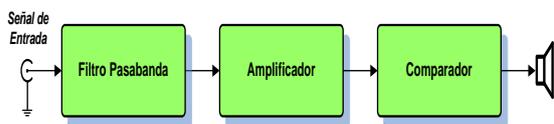


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso

El amplificador operacional (OPAMP) es el elemento que está presente en cada una de las etapas, siendo el UA741 la numeración elegida. Estos componentes pueden ser utilizados como filtros al unirse a redes RC, y dependiendo del número presente de estas redes se determina el orden, así como la respuesta de frecuencia y su calidad. Estos circuitos son capaces de controlar frecuencias, eliminándolas o seleccionándolas dentro de un rango. Dicho rango corresponde a la respuesta de frecuencia de un filtro y ésta es acorde a la utilización de una de las siguientes configuraciones: pasabandas, pasaaltos o pasabajos.

La configuración como pasabanda es la que está presente en el circuito detector de RF y el rango de frecuencias permitidas determina las señales que deben incrementar su amplitud al pasar por el bloque amplificador, en donde la nueva amplitud depende de la ganancia de éste bloque.

La etapa de filtrado y la etapa de amplificación son las que serán tomadas en cuenta para el proceso de identificación debido a que son las que contienen los elementos que definen la función de transferencia de la planta.

2.2 Factores que intervienen en el proceso

La amplitud de las señales será el punto fundamental de control para el proceso; por lo que el ruido inducido a bajas frecuencias debido a los cables de energía o malas conexiones a tierra es un factor a considerar cuando se trabaja con amplitudes pequeñas.

2.3 Razones para controlar el proceso

Debido a que el circuito funciona como un receptor de señales en un determinado rango de frecuencias, la amplitud de la señal de salida es el problema que hay que resolver debido a que hay que decidir si ésta debió o no ser amplificada, considerando que puede ser confundida con ruido. El control se centrará en la obtención de una señal con amplitud constante siempre y cuando se encuentre en la banda de paso. La amplificación se comprueba mediante el bloque comparador, que es el encargado de emitir un sonido si la señal se encuentra dentro del rango de acción del filtro pasabanda; en caso contrario no habrá sonido.

3. Técnicas de identificación

La identificación de sistemas es la teoría y el arte de construir modelos matemáticos de sistemas dinámicos basándonos en las entradas y salidas observadas (Figura 2). Como disciplina científica data de los primeros intentos de modelar series de tiempo usando técnicas AR (Autoregresivas). Aunque una parte sustancial del desarrollo de las técnicas está ligado a la Comunidad de Control, básicamente está construida a partir de técnicas estadísticas, en particular en los métodos de regresión lineal y no-lineal.

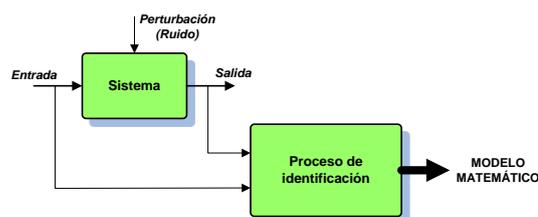


Figura 2. Obtención del modelo matemático

Construir modelos para sistemas desconocidos es un objetivo importante de la Ingeniería de control. Estos modelos necesitan simular el comportamiento real en los casos en que existe un conocimiento previo limitado de la estructura del sistema.

3.1 Algoritmos y métodos lineales fuera de línea

Engloban los casos en los que la experimentación y el procesado de los datos recogidos para construir el modelo se realizan de forma secuencial. Entre la gran variedad de algoritmos posibles pueden citarse:

3.1.1 Métodos no paramétricos. Estos métodos de identificación se caracterizan porque los modelos resultantes son funciones o curvas y no pueden ser expresados en función de un vector de parámetros de dimensión finita. Dentro de este grupo pueden citarse: Análisis transitorio, Análisis frecuencial, Análisis de correlación, Análisis espectral.

3.1.2 Métodos paramétricos. A diferencia del grupo anterior, los modelos resultantes del proceso de identificación contienen la información relevante acerca de la dinámica del proceso real en un vector de parámetros de dimensión finita. Pueden destacarse los siguientes métodos: Regresión lineal, Métodos de predicción del error (Mínimos cuadrados, Mínimos cuadrados generalizados), Métodos basados en la estimación de la verosimilitud máxima de los parámetros de los modelos (Maximum Likelihood Estimation), Métodos de variable instrumental, Métodos de identificación paramétrica basados en análisis frecuencial.

3.2 Diseño de señales de entrada

Los trabajos dentro de esta área tratan el tema del diseño de la señal de entrada a inyectar al sistema durante la experimentación, a fin de poner de relieve de la forma más eficiente posible las características de la dinámica del sistema a identificar.

4. Proceso de identificación

El proceso de identificación consta de los pasos mostrados en el organigrama de la Figura 3. Varios factores pueden incidir en que el proceso se tenga que realizar nuevamente, y se deberá repetir la identificación desde el punto correspondiente. Por tanto, hay que tener en cuenta que el proceso de identificación de sistemas es recursivo, es decir, se debe hacer una serie de pruebas varias veces, tal como se muestra en el organigrama.

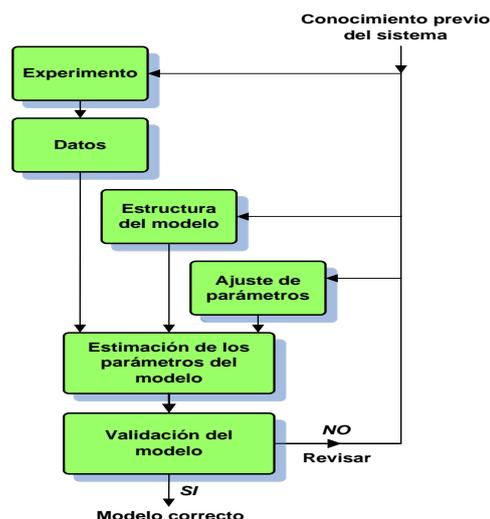


Figura 3. Organigrama de la identificación

5. Diseño de la solución

5.1 Modelo matemático teórico de la planta

Como se indicó anteriormente, para realizar el análisis de un sistema es necesario contar con un modelo matemático que lo represente. En esta sección se presenta el resultado de un análisis teórico del circuito detector de RF en el que el modelo matemático consiste de una función de transferencia en la que se relaciona la salida del amplificador de voltaje con la entrada del filtro pasabanda. Estos puntos del circuito se pueden ver en el diagrama de la Figura 4, y la función de transferencia que resulta será la que se pretende encontrar con la identificación.

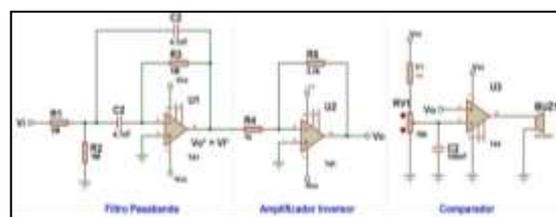


Figura 4. Obtención del modelo matemático

Una vez obtenidas las funciones de transferencia de cada etapa se procede a encontrar la función de transferencia global, y el resultado es una función de transferencia de segundo orden.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_5}{R_4} * \frac{\frac{s}{CR_1}}{s^2 + \frac{2}{CR_2}s + \frac{R_1 + R_3}{R_1R_2R_3C^2}}$$

Y reemplazando los variables presentes por sus respectivos valores numéricos se tiene:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{468.09 s}{s^2 + 425.53 s + 90538.71}$$

5.2 Adquisición de datos

La tarjeta que se utilizó para esta tarea fue la PCI-6024E de National Instruments. Se escogió esta tarjeta porque cumple con requisitos a nivel didáctico, y debido a esto no se necesita una de mayor potencia o mayor capacidad.

5.2.1 Respuesta a una entrada escalón unitario. La respuesta a este tipo de entrada nos sirve para conocer la dinámica total del sistema, esto es, que mediante la señal de salida se pueden estimar parámetros tales como tiempo de estabilización, amplitud pico, sobrenivel porcentual, etc. En la Figura 5 se puede apreciar el modelo creado para realizar esta actividad, y en la Figura 6 el resultado de la adquisición.

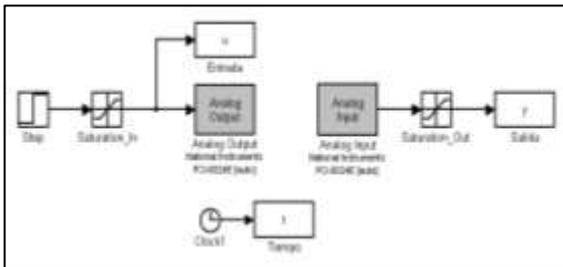


Figura 5. Modelo creado para conocer la respuesta al escalón

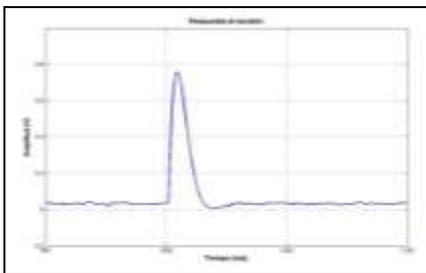


Figura 6. Respuesta de la planta a una entrada escalón

La respuesta al escalón muestra que el valor de estabilización llega a ser de 0V, esto hace que la respuesta obtenida no sea apropiada para obtener parámetros ya que no obtenemos mayor información de la misma. Esto se debe a que en la función de transferencia hay la presencia de un cero situado en el origen. Debido a las afirmaciones anteriores es que no se utiliza este tipo de respuesta para realizar la identificación, y por requerimientos en el proceso de identificación es que se diseña una señal de entrada que sea amigable con la planta, por tanto la señal elegida será la base para analizar su comportamiento.

5.3 Diseño de la señal de entrada

El diseño de la señal de entrada se realiza en un programa que fue proporcionado en el seminario de

graduación, el cual es una aplicación realizada en MATLAB y su nombre es Input Desing GUI.

Se debe diseñar una señal que sea capaz de excitar la planta en estudio en el rango de frecuencias de interés, es decir, dentro de los límites de funcionamiento de la planta. Ésta debe causar la mínima interrupción a las variables controladas (baja varianza, pequeñas desviaciones del set point) con el fin de obtener una estimación consistente en la identificación. También hay que tener presente que la señal diseñada debe ser de corta duración, dado que en una planta real de alguna industria no puede haber pérdidas por tiempo de paralización en la producción.

De entre los tipos de señales existentes se eligió una señal PRBS (Secuencia Binaria Seudo Aleatoria) debido a que esta cumple con las características necesarias que se justifican más adelante. Los parámetros que definen a una señal PRBS están presentes en la siguiente relación:

$$W_L = \frac{2\pi}{N T_{SW}} \leq W \leq \frac{2.8}{T_{SW}} = W_H$$

, donde:

T_{SW} = tiempo de conmutación

W_L = frecuencia de corte inferior

W_H = frecuencia de corte superior

$N = 2^{n_r} - 1$, y

n_r = número de registros

En el análisis del modelo matemático teórico se encontró valores que corresponden a las frecuencias de operación del circuito, y dado que

$$W = 2\pi f$$

Entonces,

$$W_L = 153.56 \text{ rad/s}$$

$$W_H = 583.39 \text{ rad/s}$$

Por lo tanto,

$$T_{SW} = 4.799 \text{ ms}$$

$$N = 8.52$$

$$n_r \approx 3$$

Estos parámetros son necesarios para ingresarlos en el programa y obtener la señal deseada, pero también la amplitud de la señal y el tiempo de muestreo deben ser tomados en cuenta, siendo este último el más importante debido al proceso de adquisición de datos que se realizó. El valor elegido para el muestreo fue de 0.001s, y en la Tabla 3.1 se

muestra las iteraciones que se realizaron con el fin de encontrar la mejor señal de entrada.

Tabla 1. Señales PRBS diseñadas

Iteraciones	Nº ciclos	T _{SW} (ms)	n _r	Varianza
PRBS1	1	4	3	1.015873
PRBS2	1	4	4	1.012429
PRBS3	1	4	5	1.007081
PRBS4	1	4	6	1.003731
PRBS5	1	4	7	1.001910
PRBS6	1	5	3	1.008403
PRBS7	1	5	4	1.009009
PRBS8	1	5	5	1.005406
PRBS9	1	5	6	1.002932
PRBS10	1	5	7	1.001515

La señal PRBS4 se seleccionó como señal de entrada por las siguientes razones:

- La sucesión de impulsos rectangulares modulados en su ancho están dispuestos de tal forma que se aproximen al ruido blanco, lo que implica un rico contenido de frecuencias (Figura 7).
- Varianza baja (Figura 8).
- Cumple con los parámetros de diseño, y con la amplitud elegida no hay problema en cuanto a sobrepasar los límites de operación de la planta.
- El espectro de la señal muestra que la señal se concentra en las frecuencias de interés (Figura 9).

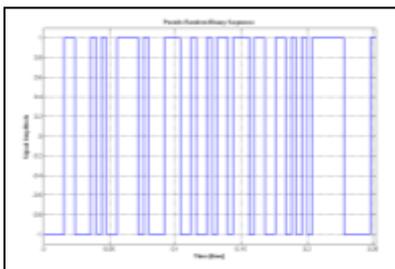


Figura 7. Señal PRBS

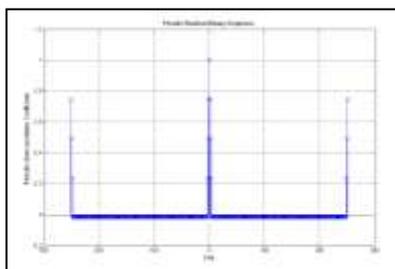


Figura 8. Autocorrelación de la señal PRBS

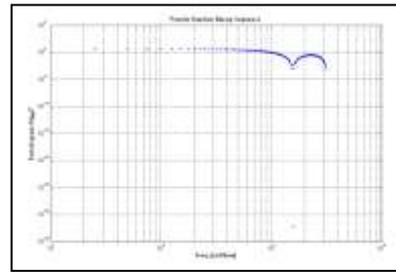


Figura 9. Espectro de potencia de la señal PRBS

5.4 Respuesta del sistema a la señal de entrada diseñada

La señal PRBS diseñada es ahora la señal utilizada como entrada para la planta y es la que se utiliza para realizar la identificación. La Figura 10 muestra el modelo creado para realizar la adquisición de datos con el fin de conocer la respuesta a esta señal, y en la Figura 11 se puede observar los resultados obtenidos de la adquisición de datos para conocer la respuesta de la planta a la señal diseñada.

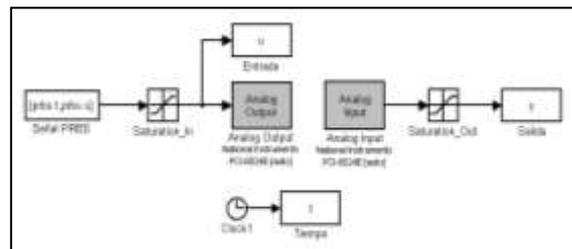


Figura 10. Modelo creado para obtener la respuesta a la señal diseñada

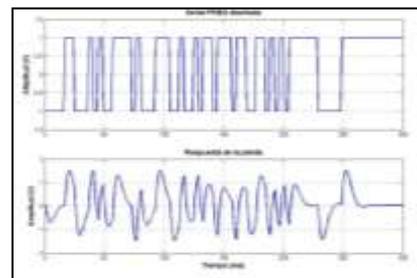


Figura 11. Respuesta de la planta a la entrada PRBS

5.5 Proceso final de identificación

El proceso de identificación termina con la elección del modelo que representa a la planta que mejor se ajusta a los datos obtenidos, y después de un tratamiento adecuado de los mismos se continúa con el proceso central de la identificación. Esta tarea se realiza mediante System Identification y consiste en el análisis y la selección de modelos resultantes con sus respectivos porcentajes de acierto. Entre las mejores opciones (con mejor porcentaje) es necesario también realizar varios análisis a la respuesta transiente, a la

respuesta de frecuencia y los resultados de correlación. Estos análisis corresponden a los métodos de identificación no paramétrica.

En cambio, los análisis que corresponden a los métodos de identificación paramétricos están presentes en el uso de una estructura definida en la siguiente ecuación, y de ella se derivan los métodos de predicción de error necesarios para la obtención de los modelos.

$$A(z) y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)} e(t)$$

Varios análisis realizados con las diferentes estructuras dieron como resultado las aproximaciones que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Mejores aproximaciones

Estructura	Aproximación
arx221	98.76%
amx2221	98.99%
oe321	99.02%
bj22221	98.99%

Para la elección de la estructura adecuada es necesario realizar un análisis de cada uno de los resultados correspondientes a cada aproximación, esto es: análisis de validación, análisis de la respuesta al escalón, análisis de la respuesta de frecuencia y análisis de residuos.

La aproximación escogida pertenece a la estructura arx221 (98.76%), y a continuación se presentan las gráficas que muestran sus resultados.

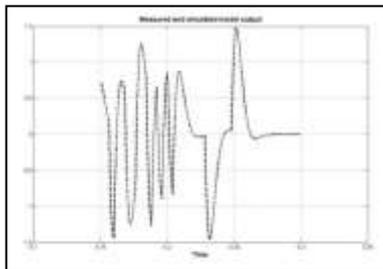


Figura 12. Validación de la salida del modelo

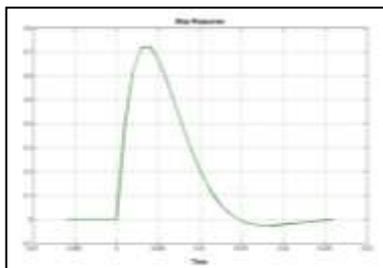


Figura 13. Respuesta a la entrada escalón

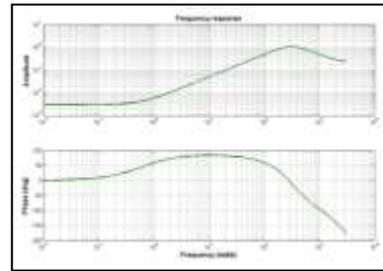


Figura 14. Respuesta de frecuencia

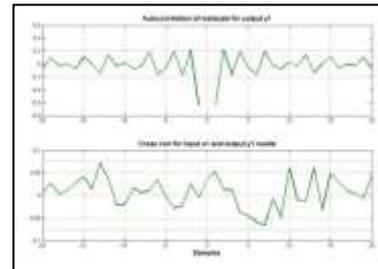


Figura 15. Análisis de residuos

5.5.1 Analizando la validación de la salida del modelo.

Se muestra una aproximación muy cercana que se ajusta a los datos adquiridos de la planta (Figura 12). Esto se debe a la poca interferencia en el momento de la adquisición. También hay que recalcar que la elección de un apropiado tiempo de muestreo ayuda a la consistencia de cualquier validación.

5.5.2 Analizando la respuesta a la entrada escalón.

Con la respuesta a este tipo de entrada (Figura 13) ocurre también aproximaciones muy cercanas. Las razones para la buena aproximación de la validación están de igual forma presentes en esta respuesta al escalón.

5.5.3 Analizando la respuesta de frecuencia.

El análisis de la respuesta de frecuencia (Figura 14) nos permite apreciar los rangos de funcionamiento del sistema, y es posible observar una conocida respuesta de frecuencia para los filtros pasabanda. En todos los casos se cumple que la frecuencia de corte es de aproximadamente 50Hz.

5.5.4 Analizando los residuos.

Este análisis fue determinante debido a las similitudes de todas las aproximaciones. La elección depende de la observación de la autocorrelación de residuos de salida, y de la correlación cruzada de residuos entre la entrada y la salida. La autocorrelación es la correlación cruzada de una señal consigo misma, y cuando se encuentra dentro de los intervalos de confianza indica que cada dato está relacionado consigo mismo y no depende de valores anteriores o series de tiempo anteriores. La correlación cruzada presenta una dinámica existente entre la señal de entrada y la respuesta del sistema proporcionada por

el comportamiento de la planta. Con respecto a la correlación cruzada, es posible observar que no se excede los intervalos de confianza (Figura 15); y lo mismo ocurre con la autocorrelación.

Es por medio de los análisis anteriores que la aproximación elegida que mejor se ajusta a los datos adquiridos fue la estructura arx221, y finalmente, interactuando con el Comand Window de MATLAB podemos obtener el modelo y el resultado final se muestra a continuación y corresponde a la función de transferencia identificada que describe el comportamiento del circuito detector de RF.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{505.3829 (s + 0.586)}{s^2 + 450.8 s + 98140}$$

5.6 Análisis del modelo encontrado en MATLAB

Varias curvas que se pueden encontrar al analizar la función de transferencia con MATLAB, y los resultados obtenidos son gráficas que se derivan del uso de las funciones step (Figura 16), bode (Figura 17), y pzmap (Figura 18).

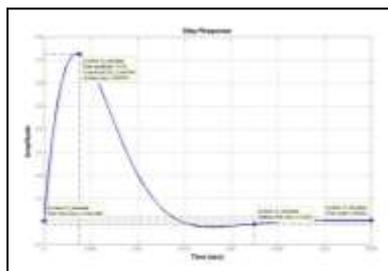


Figura 16. Respuesta a una entrada escalón

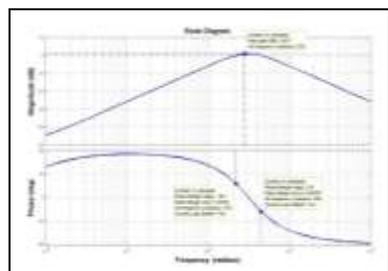


Figura 17. Diagramas de Bode

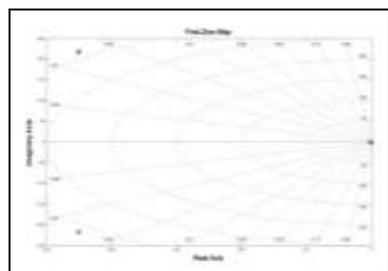


Figura 18. Mapa de polos y ceros

En la Figura 16 se observa que el modelo encontrado se comporta de la misma manera que la planta real. También se puede notar que esta respuesta al escalón da un valor de estabilización que llega a ser de 0V, tal como sucedió en la respuesta hallada mediante la adquisición de datos.

Es posible también observar los diagramas de Bode de magnitud y fase (Figura 17), en donde se indica el valor pico de ganancia y el margen de fase; y en donde se aprecia una conocida respuesta de frecuencia para los filtros pasabanda. Y en la Figura 18 se presenta la ubicación de los polos (x) y ceros (o) presentes en el modelo encontrado.

Estos últimos análisis nos indican que la elección del modelo identificado ha sido la correcta.

5.7 Análisis de control de la planta

Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración que proporcionará una respuesta deseada del mismo, y uno de estos componentes corresponde a los controladores. El diseño de un controlador se realiza con el fin de hacer estable y eficiente algún sistema, esto debido a perturbaciones y posibles errores; y en el caso de nuestra planta hay varias razones que ayudan a decidir que no es necesaria su implementación y son las siguientes:

- Los sistemas pueden ser no realimentados o de lazo abierto y realimentados o de lazo cerrado. Las configuraciones de los OPAMP utilizados constituyen un control de lazo cerrado debido a las realimentaciones presentes, en donde la salida vuelve a la entrada (-) para un análisis de la diferencia con la otra entrada (+) y entonces se realiza un ajuste. Cuando se realimenta negativamente un OPAMP, al igual que con cualquier circuito amplificador, se mejoran algunas características del mismo como una mayor impedancia en la entrada y una menor impedancia en la salida. La mayor impedancia de entrada da lugar a que la corriente de entrada sea muy pequeña y se reducen así los efectos de las perturbaciones en la señal de entrada. La menor impedancia de salida permite que el amplificador se comporte como una fuente eléctrica de mejores características. Además, la señal de salida no depende de las variaciones en la ganancia del amplificador, que suele ser muy variable, sino que depende de la ganancia de la red de realimentación, que puede ser mucho más estable con un menor coste.
- Si no existiera la realimentación negativa en los OPAMP, la salida de cada etapa sería el resultado de comparadores, en donde de

acuerdo al signo de la diferencia de las dos entradas toma valores de saturación, es decir, valores de alimentación. Este comportamiento correspondería a un sistema en lazo abierto.

- De acuerdo al modelo encontrado se puede determinar que la frecuencia natural del sistema es demasiado alta como para realizar el control de tiempo de respuesta o del tiempo de estabilización. Esta es una característica propia de los circuitos electrónicos, por lo que la única variable a controlar es la amplitud. Además, según los análisis a la respuesta al escalón, no hay una respuesta considerable en el tiempo para este tipo de señal, ya que el sistema solo considera señales alternas para su función.

Debido al control implícito en las configuraciones utilizadas y por las características de la función de transferencia encontrada, no se realizó el diseño de un controlador para nuestra planta.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

La técnica de identificación de sistemas utilizada constituye una herramienta eficaz para el análisis de sistemas de control y la posterior determinación de modelos satisfactorios que representen la dinámica de funcionamiento de los mismos.

La eficacia se comprobó en las buenas aproximaciones obtenidas en las validaciones de los modelos. Los resultados fueron satisfactorios y dependieron de factores como: correcta calibración de equipos, poca interferencia en el circuito en funcionamiento, buena elección del tiempo de muestreo. Además la aplicación didáctica del proyecto permite tener muy pocas limitaciones en cuanto a su modelamiento teórico, y esto ayuda debido a que contamos con una base firme para la comprobación del funcionamiento de los resultados encontrados.

Como parte del procedimiento de la identificación es necesario realizar el diseño de una señal de entrada que sea capaz de excitar la planta. Esto se logra con la completa comprensión del funcionamiento de la planta, esto es, rangos de acción, límites de saturación, posibles perturbaciones.

Después de los análisis de las estructuras de los métodos de predicción aplicadas se eligió a la estructura $arx221$ como la más adecuada, debido a que presenta características que concuerdan con la dinámica del sistema real.

Se demostró que el modelo elegido es el mejor mediante simulaciones realizadas a su función de

transferencia. Las respuestas encontradas coincidieron exactamente con el funcionamiento de la planta real, por ejemplo, se puede apreciar la amplificación de las señales de entrada siempre y cuando estas son de una frecuencia que está dentro del rango de acción de filtro pasabanda. Y al variar la frecuencia de las señales se pudo comprobar la acción de filtrado que se realiza para determinar si una señal debe o no ser amplificada. Estas acciones corresponden al control que realiza la planta.

6.2 Recomendaciones

Para el modelamiento teórico de la planta hay que tener en cuenta todas las variables presentes, esto con el fin de saber qué tipo de instrumentación utilizar para el tratamiento de los datos y cuales variables son las que hay que controlar.

La duración de la señal de prueba no debe ser muy larga, en especial para los procesos reales en los que una paralización en la producción podría implicar pérdidas económicas, y el tiempo de muestreo es un factor importante que hay que tomar en cuenta para obtener mejores aproximaciones de las validaciones.

Con un interés de realizar trabajos futuros en esta área, recomendamos la utilización de este método de identificación para solucionar posibles problemas o requerimientos relacionados al control de un proceso. A pesar de que se tenga poco o ningún conocimiento acerca del proceso a ser controlado, es posible encontrar soluciones eficientes siempre y cuando los pasos a seguir sean desarrollados cuidadosamente. En nuestra área, de las telecomunicaciones, se podría realizar el control de cualquier sistema mediante su implementación, o de procesos concretos presentes en las industrias. Y para conseguir excelentes resultados, y dado que los tiempos de respuesta son muy rápidos, sería necesario disponer de la instrumentación adecuada, como por ejemplo, de sistemas de adquisición de datos avanzados.

7. Referencias

- [1] R.G. Hakvoort, "System Identification for Robust Process Control", Prentice Hall, 1991
- [2] L. Ljung, "Matlab User's Guide: System Identification Toolbox". Prentice Hall, 1988
- [3] L. Ljung y T. Glad, "Modeling of dynamic Systems". Prentice Hall, 1994.
- [4] S. L. Ljung, "System Identification. Theory for the user", Prentice Hall, 1987.
- [5] R. C. Dorf, "Modern Control Systems". 8va. Edición, Ed. Addison-Wiley 1988
- [6] B. Shahian, M. Hassul, "Control System design Using Matlab". Ed. Prentice-Hall, 1993.
- [7] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Prentice Hall, 2003.