

Identificación y diseño de un controlador para un sistema de antenas inteligentes basado en el algoritmo adaptativo RLS.

Joel Alejandro Camba Verzola
Sara Andreina Villagómez Navarrete
MSc. César Antonio Martín Moreno
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

joeacamb@espol.edu.ec, svillago@fiec.espol.edu.ec, camartin@fiec.espol.edu.ec

Resumen

El presente proyecto está enfocado en la implementación de una planta virtual de un sistema de Antenas Inteligentes, que posteriormente será utilizada para evaluar los diferentes modelos matemáticos usados en la Identificación de sistemas, pudiendo así comparar sus características para finalmente escoger el modelo más amigable y que mejor se adapte a la planta. El modelado virtual de la planta, el proceso de identificación y el diseño del controlador es llevado a cabo en el software MATLAB/Simulink. Los objetivos principales del proyecto son: Realizar un modelo virtual que simule un sistema de Antenas Inteligentes que sea capaz de responder a cambios de diferentes parámetros y perturbaciones. Estudiar una serie de algoritmos para realizar el descubrimiento de usuarios en la fase previa a la transferencia de información de un modo lo más eficiente posible. Demostrar que la Identificación del Sistema sea válida.

Palabras Claves: *Identificación, adaptativo, MATLAB/Simulink*

Abstract

This work is focus on the implementation of a virtual plant for a Smart Antenna System, that later will be use to assess different mathematic models used in the System Identification Process, thus being able to compare their characteristics and finally choose the most friendly model and better adapted plant. The virtual plant modeled, the Identification Process and the control design is carried out over the MATLAB/Simulink software. The principal objectives of this project are: realize a virtual model that simulates a Smart Antenna System able to respond to different parameters y perturbations. Study several algorithms to perform the users discovery on the previous phase of the data transfer in the most efficiently manner as possible. Demonstrate that the System Identification was valid.

Keywords: *Escriba nuevamente las palabras claves en inglés.*

1. Introducción

El constante avance tecnológico, la mejora continua y las innovaciones en procesos, han hecho necesario el desarrollo de herramientas que ayuden a identificar y automatizar procesos mucho más complejos para su mejor supervisión.

El presente artículo está enfocado al entendimiento de un Sistema de Antenas Inteligentes y a los diferentes modelos matemáticos, que posteriormente serán detallados.

La importancia de modelar matemáticamente el comportamiento de la planta escogida nos dará un entendimiento mucho más profundo para así poder diferenciar las diferentes perturbaciones que excitan y que harán que el sistema varíe para responder de una

manera diferente y mejorada con el pasar del tiempo. Sin estas herramientas nos sería casi imposible entender y mejorar la planta.

Mediante el conocimiento adquirido de los diferentes métodos matemáticos y las diferentes formas de crear un Sistema de Antenas Inteligentes en el transcurso de esta investigación, nos enfocaremos específicamente en la elaboración de la plana virtual basado en el algoritmo adaptativo RLS y su modelamiento en los siguientes algoritmos: ARMAX, FIR, Box-Jenkins, Output Error, ARX.

2. Fundamentos teóricos.

2.1 Identificación de sistemas.

Podemos definir como la identificación de sistemas a los estudios de técnicas que persiguen la obtención de modelos matemáticos de sistemas dinámicos a partir de mediciones realizadas en el proceso como: entradas o variables de control, salidas o variables controladas y perturbación

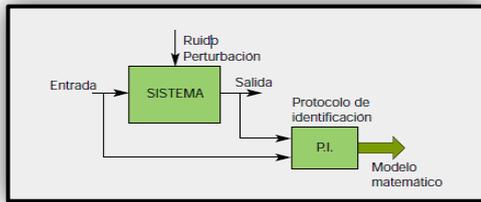


Figura 1. Proceso de identificación

2.1.1 Identificación no paramétrica. Por medio de la identificación no paramétrica se puede obtener modelos o representaciones no paramétricas que tiene la planta, encontrando la respuesta al impulso del sistema.

2.1.1.1 Análisis de correlación. Es un método en el dominio del tiempo, el cual obtiene la función de correlación entre las variables de interés y como caso especial, una función de ponderación.

Se puede usar para estimar los coeficientes de respuesta al impulso finito (FIR) entre “u”, una entrada candidata, “y”, una salida deseada, “v” es un término de ruido no medido

$$y(t) = (b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_nz^{-n})u(t) + v(t) \quad (1)$$

2.1.1.2 Técnicas frecuenciales. Consiste en tomar las transformadas de Fourier de los estimadores de muestra “suavizados” para la covarianza y la covarianza cruzada por lo que son utilizadas para estimar la respuesta de frecuencia del sistema. Dentro de las técnicas frecuenciales podemos diferenciar entre el análisis de Fourier y el análisis Espectral.

2.1.2 Identificación paramétrica. Quedan descritos mediante una estructura y un número finito de parámetros que relacionan las señales de interés del sistema (entradas, salidas y perturbaciones). Los métodos de identificación paramétrica tienen como característica principal que su resultado es un vector de parámetros, por esto se conocen como métodos directos. Los métodos de identificación paramétrica utilizan una estructura de modelo definida:

$$A(q^{-1})y(t) = \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})}u(t) + \frac{C(q^{-1})}{D(q^{-1})}e(t) \quad (2)$$

Donde A, B, C D y F son polinomios de algún orden en función de parámetros y (q^{-1}) es el operador

retardo. A partir de esta estructura se pueden obtener diferentes estructuras de modelos considerando alguno de los polinomios de cualquier orden iguales a uno. Algunos nombres de estructuras conocidas se encuentran

Tabla 1. Estructuras de modelos paramétricos

Tipo de modelo	Condición	Estructura resultante
Modelo ARX	$F(q^{-1}) = D(q^{-1}) = A(q^{-1}) = 1$	$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + e(t)$
Modelo Output Error (OE)	$C(q^{-1}) = D(q^{-1}) = A(q^{-1}) = 1$	$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})}u(t) + e(t)$
Modelo ARMAX	$F(q^{-1}) = D(q^{-1}) = 1$	$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$
Modelo Box Jenkins (BJ)	$A(q^{-1}) = 1$	$A(q^{-1})y(t) = \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})}u(t) + \frac{C(q^{-1})}{D(q^{-1})}e(t)$

2.2 Antenas inteligentes.

Las antenas inteligentes son arreglos de antenas que mediante el control de la fase y la amplitud de la excitación de cada uno de los elementos que conforma el arreglo, poseen la capacidad de ajustar su diagrama de radiación de forma predeterminada. El sistema funciona de tal forma que cuando el usuario se desplaza, se modifica el lóbulo para que se mueva con él.

La figura muestra el diagrama de bloque de una antena inteligente, entre las cuales se pueden mencionar: Arreglos de antenas, antenas adaptativas, propagación, teoría de las comunicaciones, procesamiento digital de señales, entre otros.

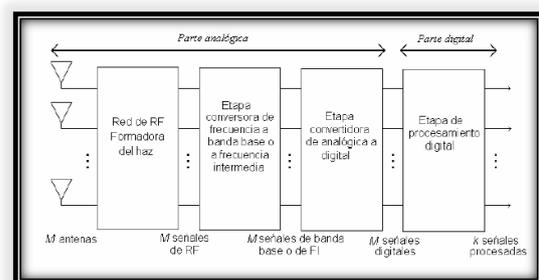


Figura 2. Diagrama de bloques.

La antena inteligente en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento.

2.3 Antenas adaptativas.

Las antenas adaptativas son un paso más en la tecnología de las antenas inteligentes, el control del

diagrama de radiación se hace por medio de un algoritmo adaptativo que pretende minimizar una señal de error generada a partir de una referencia en el receptor de la estación base. Para ello, es necesario definir un modelo de canal que tenga en cuenta todas las características del canal.

La señal de referencia en el receptor se genera a partir de los códigos CDMA usados por los diferentes usuarios. Con esta señal se obtienen los pesos apropiados del arreglo representados por la letra W , como se muestra en la figura 3, para reducir la interferencia recibida de usuarios no deseados y seguir a la señal deseada. Por tanto, se trata de un esquema de referencia temporal. Gracias a la ortogonalidad entre los códigos de los diferentes usuarios, puede generarse una señal de error $e(t)$ cuya potencia se minimizará con el procesamiento adaptativo. Esta señal estará compuesta de la interferencia de otros usuarios y por ruido. Para cada usuario, se correrá la señal recibida con el código correspondiente, se filtra para eliminar la interferencia del resto de usuarios, y se vuelve a correlar la señal filtrada con el mismo código. Esta es la señal de referencia que luego se utilizará para obtener $e(t)$.

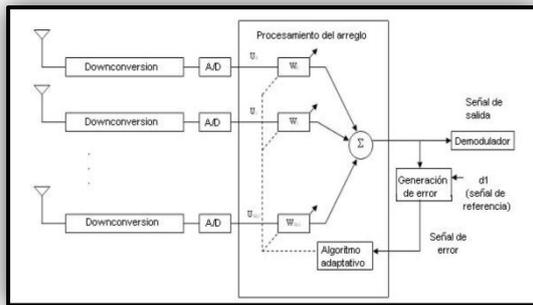


Figura 3. Estructura de un arreglo adaptativo.

2.4 Algoritmos adaptativos.

El conformador de haces adaptativos es una técnica que rige a los arreglos de antenas para lograr una recepción máxima en una dirección específica, estimando la señal de llegada desde la dirección deseada (en presencia de ruido), mientras que las señales de igual frecuencia proveniente de otras direcciones son rechazadas. La separación espacial se utiliza para diferenciar la señal deseada de las señales interferentes. A través de la ponderación de las señales desde cada antena, se filtran las señales no deseadas. En conformadores de haces adaptativos, los pesos óptimos se calculan iterativamente usando algoritmos complejos

2.4.1 Algoritmo Adaptativo Mínimo Cuadrado Recursivo RLS. Cuando el medio es altamente dinámico se requiere de algoritmos que se adapten rápidamente a los cambios. Con esos propósitos se crearon algoritmos de rápida respuesta, tal como el

algoritmo RLS. Una manera de aumentar la velocidad de convergencia del algoritmo adaptativo es calcular directamente el vector de pesos a través de la ecuación de Wiener. El algoritmo RLS Ecuaciones (3, 4 y 5) realiza una búsqueda iterativa por el vector de coeficientes óptimos, directamente a través de la ecuación (6):

$$W_{opt} = R_{xx}^{-1} r_{dx} \quad (6)$$

$$y(t) = w^H x(t) \quad (3)$$

$$\varepsilon^2(t) = [d^*(t) - w^H x(t)]^2 \quad (4)$$

$$w(k+1) = w(k) + \mu_{LMS}(k) \quad (5)$$

Las aproximaciones estocásticas de las matrices R_{xx} y r_{dx} son actualizadas recursivamente en cada iteración de la siguiente manera:

$$R_{xx}(k) = \phi R_{xx}(k-1) + x(k)x^H(k) \quad (7)$$

$$r_{dx}(k) = \phi r_{dx}(k-1) + d^*(k)x(k) \quad (8)$$

Para obtener la ecuación de Wiener, se necesita calcular la inversa de $R_{xx}(k)$ como se ve en la ecuación (9). Para esto se utiliza la matriz de inversión de Lemma.

$$R_{xx}^{-1}(k) = \phi^{-1} [R_{xx}^{-1}(k-1) - \frac{R_{xx}^{-1}(k-1)x(k)x^H(k)R_{xx}^{-1}(k-1)}{\phi + x^H(k)R_{xx}^{-1}(k-1)x(k)}] \quad (9)$$

Para la obtención del vector de ponderaciones óptimas se reemplazan las ecuaciones (9) y (8) en (6), con lo que se obtiene la forma genérica del algoritmo RLS.

$$w(k) = w(k-1) - \frac{\phi^{-1} R_{xx}^{-1}(k-1)}{1 + \phi^{-1} x^H R_{xx}^{-1}(k-1) x(k)} x(k) e^*(k) \quad (10)$$

$$\text{Haciendo: } \phi_{RLS} = \frac{\phi^{-1} R_{xx}^{-1}(k-1)}{1 + \phi^{-1} x^H R_{xx}^{-1}(k-1) x(k)}$$

Se obtiene una forma más resumida de la ecuación (11). Esta se presenta a continuación.

$$w(k) = w(k-1) - \phi_{RLS} x(k) e^*(k) \quad (11)$$

De esta forma se obtiene un algoritmo RLS de rápida convergencia pero con mayor complejidad, por la mayor carga de procesamiento de datos.

3. Proceso de la solución.

Para comenzar con el proceso de la solución se deben tener en cuenta todas las variables o perturbaciones que la planta implica, tales como:

- ✓ Señales interferentes.
- ✓ Ángulo de arribo de la señal de cada usuario.

- ✓ Cantidad de tráfico en el canal y dirección a ser propagada.
- ✓ Tiempo de convergencia de la señal a ser propagada.
- ✓ Cantidad de procesamiento que debe soportar el sistema.
- ✓ Incremento de la capacidad de transmisión y confiabilidad.
- ✓ Propagación en dirección deseada.

Como la implementación de todas las variables anteriormente mencionadas significa que la complejidad de la planta virtual se incrementaría y que entraríamos entrando en sistemas o estudios no contemplados en los objetivos de la investigación, se ha decidido obviar y enfocarnos únicamente en el proceso de conformación adaptativo del patrón de radiación de la antena, queriendo decir con esto que el ángulo de arriba ángulo de señales interferentes, etc., no se tomarán como variables en la implementación del sistema.

Es necesario mencionar que la implementación de la planta se llevo completamente a cabo mediante el software grafico SIMULINK que nos otorga el programa MATLAB.

A continuación se muestra el esquema final usado para la simulación de la planta.

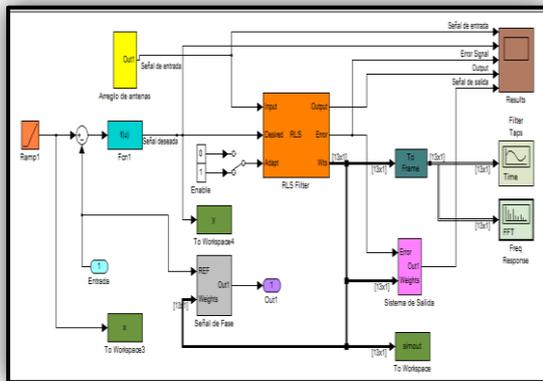


Figura 4. Planta virtual en Simulink

De los bloques más significativos y primordiales a ser explicados y detallados están: Bloque RLS, Señal de entrada, Sistema de Salida y Señal de fase.

Bloque RLS.- El bloque en la Figura 5 estima los pesos o los coeficientes necesarios para convertir la señal de entrada en la señal deseada.

Se conecta la señal de entrada que se desea filtrar al puerto de entrada, esta señal de entrada puede ser una señal escalar muestreada o una señal continua, en

este caso es una señal muestreada de la sumatoria de un arreglo de antenas dipolo.

Se conecta la señal que se desea modelar en el puerto deseado, la señal deseada debe tener los mismos tipos de datos, complejidad y dimensiones de la señal de entrada, la cual será el patrón de radiación al ángulo deseado. El puerto de salida genera la señal de entrada filtrada, la que es una señal muestreada. El puerto de error muestra el resultado de restar la señal deseada menos la señal de salida.

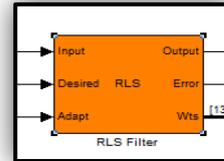


Figura 5. Bloque de filtro RLS

Señal de entrada.- La señal de entrada es la sumatoria de los diagramas de propagación de cada antena dipolo que conforman el arreglo, la cual es representada por una sumatoria de funciones coseno (Figura 6), que presenta en su gráfica polar la forma de propagación de una antena dipolo como se puede observar en la Figura 7.

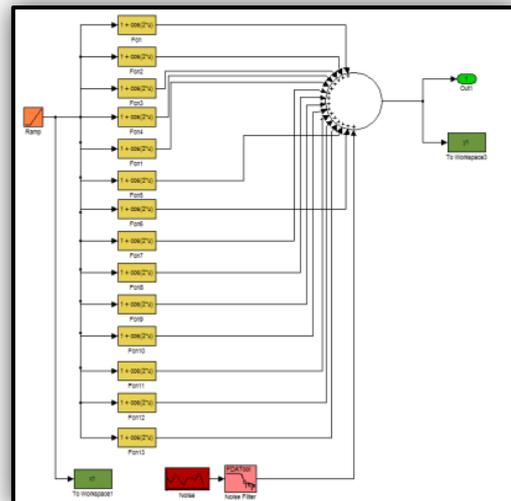


Figura 6. Bloque de la señal de entrada

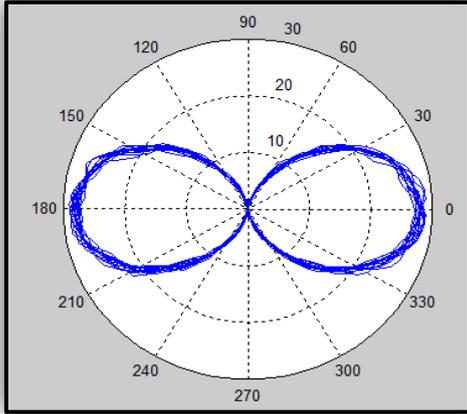


Figura 7. Gráfica polar de la señal de entrada

Señal deseada.- La señal deseada tiene una alta correlación con la señal de salida (figura 3.2), mas no es la verdadera, de hecho es una señal que la representa de cerca o tiene una alta correlación con la misma.

Para fin práctico del proyecto se escoge una función cuya gráfica polar como lo muestra la Figura 8 representa nuestra forma de propagación.

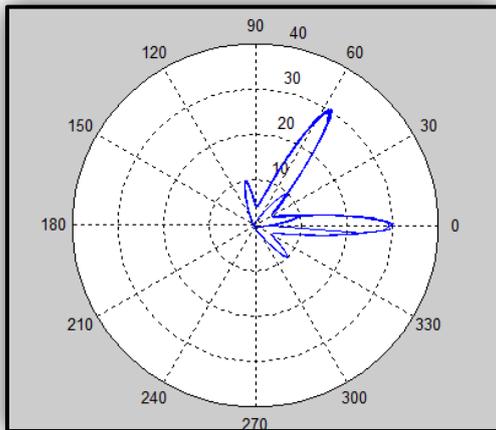


Figura 8. Gráfica polar de la señal deseada

4. Respuesta al impulso.

En la figura 9 se puede observar el procedimiento grafico que se realiza para la obtención de la respuesta al impulso de la planta.

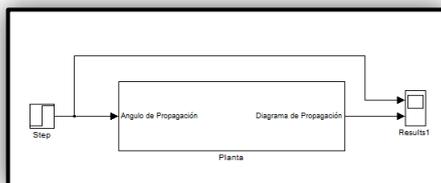


Figura 9. Diagrama de bloque en lazo abierto

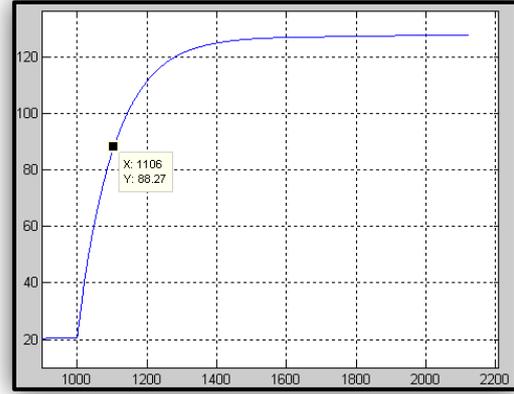


Figura 10. Respuesta de la planta a una entrada

Es necesaria la obtención del Tao dominante de la planta como dato para la identificación paramétrica, el mismo que nos dará el primer indicio del comportamiento, para esto se realiza mediciones con diferentes valores para las entradas impulso, de las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2. Resultados del step vs tao

Step	τ_{dom}
1	0.106 seg
3	0.104 seg
5	0.102 seg
-3	0.095 seg
7	0.099 seg

Según el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, para poder replicar con exactitud la forma de una onda, es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. En radianes/seg la frecuencia de Nyquist es: $W_n = \frac{\pi}{T}$

Debido a la rapidez de la planta y la necesidad de obtener la mayor cantidad de datos posibles, que harán que la identificación sea lo más cercana a la planta virtual, el Tao_{dom} será igual a 0.01 seg.

5. Señal de entrada.

La señal de entrada seleccionada para la planta está configurada de la siguiente manera:

Señal escogida = Señal Pseudo Random Binary Signal (PRBS).

- $T_{muestreo} = 0.01$,
- $Tao_{domLo} = 1.06$;
- $Tao_{domHi} = 1.2$;
- Alfa = 2;
- Beta = 3Cycles = 3

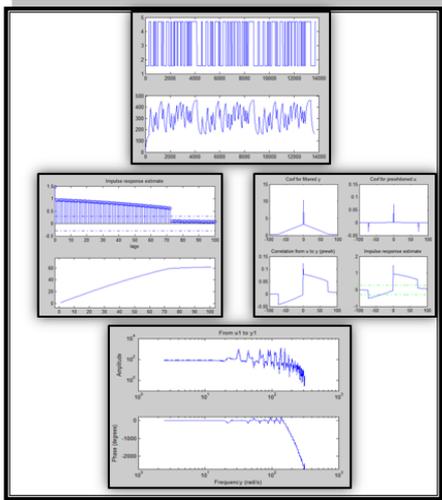


Figura 11. Señal de entrada PRBS escogida

Como se logra visualizar en la figura 11 se tiene una señal de entrada con un corto tiempo de switcheo y un rango de tiempo considerable para poder adquirir gráficos más cercanos al comportamiento de la planta, como se puede observar se tiene una respuesta al escalón suavizada muy cercana a la vista anteriormente (véase en la figura 3.16) corroborando esto con las gráficas de correlación y correlación cruzada.

En la gráfica de covarianza para la salida filtrada, no solo existe un valor en cero, también se logra visualizar que la entrada no depende de valores anteriores, mediante el cual no se utiliza un orden de filtro pre blanqueado alto ya que la planta no necesita de la misma.

La gráfica de correlación cruzada se puede notar que si existe correlación entre la entrada PRBS y la salida de la planta para los diversos períodos, por lo que satisfactoriamente podemos concluir que sí hay un relación entre ambas señales, dándonos confianza para realizar los análisis posteriores. .

La gráfica de la estimación a la respuesta impulso indica los valores de los coeficientes de la respuesta impulso con los que se puede obtener la respuesta al escalón.

6. Identificación de la planta.

Para realizar la selección del mejor método se debe revisar minuciosamente cada una de las respuestas obtenidas a lo largo de los experimentos realizados, en cuanto al best fit se puede concluir que cada una de las señales posee una muy buena aproximación, más no es un indicador suficiente, sin embargo si la auto-correlación y correlación cruzada de residuos están dentro del intervalo de confianza se

concluye que no existe error de predicción del modelo matemático.

El mejor modelo a escoger para la planta es el BJ, la respuesta de la Autocorrelación residual está dentro de los intervalos de confianza indicando que no existe error de predicción en la salida, se logra observa en la gráfica de Correlación cruzada residual (Figura 12) que existe dependencia entre los errores de entrada y salida, sin embargo éste modelo se escogió válido ya que para solucionar el inconveniente se debe incrementar el grado de la planta al igual que su complejidad, lo cual no es uno de los objetivos del proyecto.

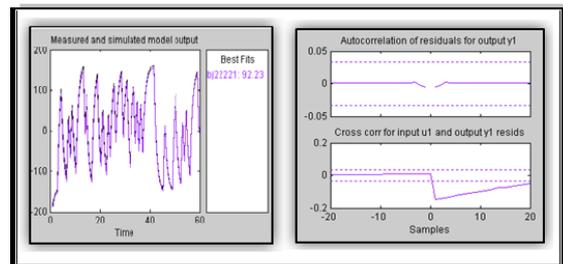


Figura 12. Respuesta BJ22221

7. Proceso del diseño.

Una vez terminado el proceso de identificación de la planta, se procede a realizar la implementación de un controlador con el objetivo de efectuar mejoras en el Sistema de Control.

El controlador necesario para este proyecto es un Control P (Proporcional), ya que la planta al incluir el algoritmo RLS otorga una respuesta recursiva, por lo cual indica que la planta ya responde al movimiento del usuario, por lo tanto la variable a mejorar en la planta es el tiempo de estabilización.

La herramienta a utilizar para la elaboración del controlador es SISOTOOL de Matlab, esta herramienta es muy útil para dicho propósito, ya que permite el análisis de sistemas lineales, mostrando la trayectoria de las raíces, gráficas que muestran el Sobrenivel Porcentual, Tiempo de Estabilización, Porcentaje de Error en el Sistema, etc.

7.1 Diseño del Controlador P para el modelo elegido

Como ya se había indicado anteriormente uno de los modelos óptimos para realizar el estudio de la planta es el BJ22221, que cumple con los requerimientos necesarios.

Con los datos iniciales de la planta sin compensador se tiene en condiciones normales lo siguiente:

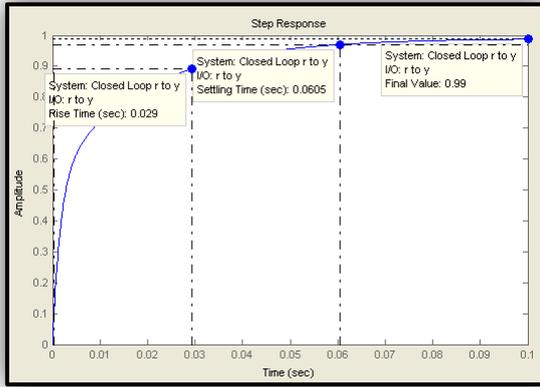


Figura 13. Respuesta del modelo.

- ✓ Tiempo de estabilización: 0.06 seg
- ✓ Tiempo de levantamiento: 0.029 seg

Los valores indicados deben de mejorar una vez diseñado el controlador.

Se realiza el desplazamiento de la trayectoria en las raíces para satisfacer los nuevos requerimientos de la planta. Esto se facilita ya que se conocen los valores a mejorar, teniendo un claro objetivo hacia donde se quiere llegar.

Se procede a establecer un parámetro a mejorar de la planta, en este caso el único parámetro adecuado es el tiempo de estabilización ya que la planta al disponer de un algoritmo adaptativo RLS hace que converja muy rápida al solo tomar en cuenta el proceso de las señales eléctricas de la planta, a diferencia del procesamiento del DSP (Procesador Digital de señales) y sensores que implican un sistema de antenas inteligentes. Debido a esto se procede a mejorar el tiempo de estabilización haciendo click derecho sobre la trayectoria en la ventana (Figura 14) moviéndose sobre la trayectoria de las raíces hasta obtener el tiempo de estabilización requerido.

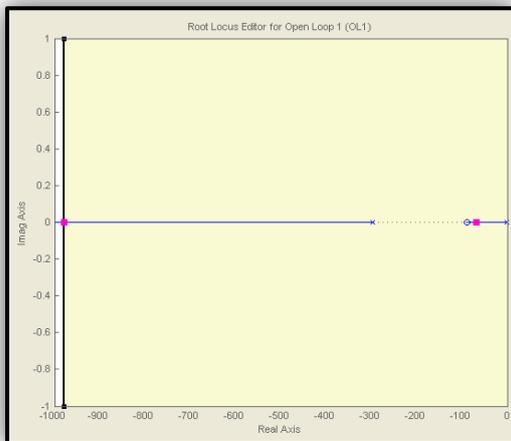


Figura 14. Desplazamiento de la trayectoria.

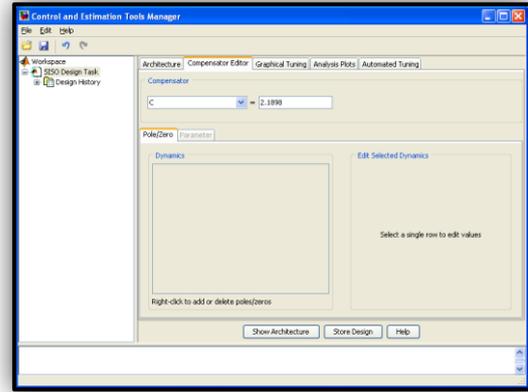


Figura 15. Selección del compensador.

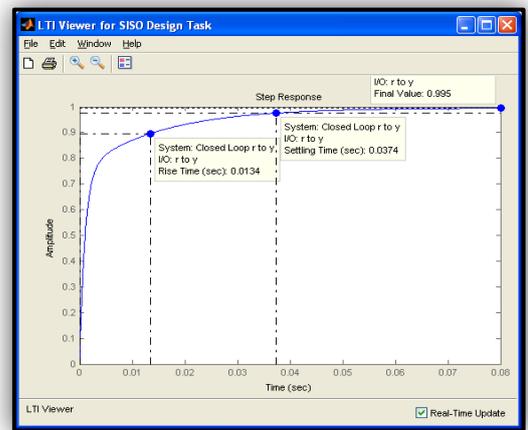


Figura 16. Respuesta del modelo con compensador.

La figura 15 muestra el valor del compensador para satisfacer el requerimiento de mejorar el tiempo de estabilización de la planta.

En la figura 16 se observa que se obtuvo un tiempo de estabilización más rápido, el cual es muy indispensable en el comportamiento de antenas inteligentes, pudiendo decir que se ha mejorado el control del sistema, teniendo:

- ✓ Tiempo de estabilización: 0.0374 seg
- ✓ Tiempo de levantamiento: 0.0134 seg

7.2 Pruebas del compensador.

Una forma de comprobar que el compensador ha sido efectivamente el adecuado, se procede a realizar una sencilla pero importante prueba que es añadir una nueva señal escalón y cambiarle algunos de sus parámetros.

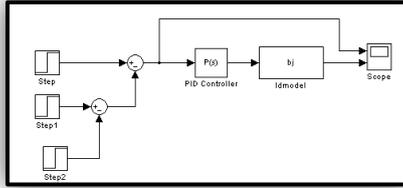


Figura 17. Diagrama en Simulink modificado

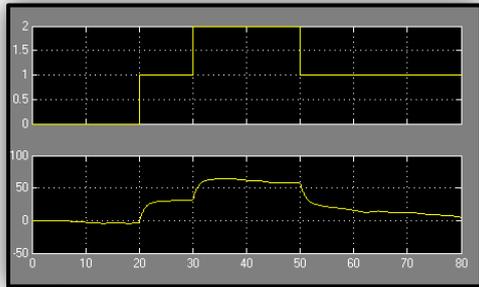


Figura 18. Respuesta al escalón del sistema

Como se puede observar en la figura 17 no se indica la retroalimentación, ya que el algoritmo RLS dentro de la planta al ser un algoritmo recursivo ya tiene implícito en él la retroalimentación en lazo cerrado.

La función de transferencia de la planta está dada por el modelo matemático BJ22221, el cual se escogió en el Capítulo 4. Haciendo uso de la ventana de comandos de Matlab, se obtiene la ecuación (12).

$$Tf(BJ22221) = \frac{341.7s+3e^4}{s^2+297.8s+301.3} u(t) + \frac{s^2+194.4s+3775}{s^2+178.4s-3.686} e(t) \quad (12)$$

La función de transferencia de la planta con compensador, obtenida de Sisotool, diagrama de polos y ceros es:

$$2.1898 * \frac{s+87.8}{(s+979)(s+67.4)} \quad (13)$$

8. Conclusiones

1. El programa MATLAB es una herramienta muy exacta en cuanto a modelación matemática, su eficacia en el uso de matrices para poder estudiar y desarrollar hipótesis, durante todo este proyecto fueron puntos decisivos para alcanzar nuestros objetivos de la mejor manera por lo cual el uso de esta herramienta es altamente recomendable ya que nos significó una espléndida ayuda y es más una fuente de conocimiento para nuestros propósitos.

2. La herramienta SIMULINK que contiene el programa MATLAB a diferencia de la interfaz de comandos que nos otorga MATLAB en su esencia, es una interfaz mucho más amigable para el programador, ya que mediante su estructura netamente gráfica de bloques, que contienen funciones específicas dependientes de entradas para poder cumplir a cabalidad su desarrollo, nos significa una herramienta mucho más eficaz en cuestión de tiempo. Por otro lado esta herramienta también puede ser mal vista ya que el sistema que propone nos oculta la mayor parte del detalle de la programación, de igual manera durante este proyecto nos fue de gran ayuda ya que mezclando las dos interfaces que este espléndido programa nos brinda logramos encontrar un beneficio tanto en detalles como en ahorro de tiempo.

3. La implementación de nuestra planta de forma virtual nos significó algunos beneficios pero al mismo tiempo algunas complicaciones, ya que al tratar de modelar un sistema con una cantidad considerable de variables tanto mecánicas como lógicas se tuvieron que asumir o dejar por fuera muchas de estas y enfocarnos en la variable que incide en el tema de investigación, se puede concluir que si se quiere tomar en consideración todas las variables que representa una Antena Inteligente la adquisición de una real o implementación de una sería la mejor opción.

4. Al momento de querer encontrar la mejor entrada a nuestro sistema se hallaron algunos inconvenientes ya que al inicio aplicábamos entradas que no eran nada amigables con nuestra planta ni nos otorgaba la cantidad de información necesaria sobre la dinámica, por lo que se profundizó en la obtención de la misma la cual dependía del modelo final este lo más cercano posible al simulado, se debe concluir que la obtención del mejor tipo de entrada para el sistema es un punto decisivo para la Identificación de Sistemas.

5. Durante la identificación no paramétrica vía análisis de correlación y espectral, se pudo obtener la primera aproximación del modelo de nuestra planta, aunque no muy asertiva significó nuestro primer paso para llegar al modelo final. Este tipo de identificación nos confirmó la obtención de una buena señal de entrada ya que si esta no estaba correcta la gráfica de correlación entre la entrada y la

salida nos daba un pulso en cero, lo que nos demostraba que nuestra entrada no tenía ninguna relación con nuestra salida o por lo menos que esa entrada no significaba ningún tipo de información sobre nuestra planta.

6. En la identificación paramétrica usando los diferentes modelos, sean estos, ARIMA, BOX JENKINS, OUTPUT ERROR, ARX se puede concluir que el modelo de BOB JENKINS da la mejor aproximación a la planta que presenta la función de transferencia más sencilla en su respuesta, tanto al impulso como al escalón, fue la más cercana a la que obtuvimos de la identificación no paramétrica anteriormente realizada.
7. La herramienta SISOTOOL en el programa MATLAB nos ayudo de una manera muy eficaz a localizar los polos y ceros de la función de transferencia de nuestra planta, esta herramienta es un GUI de MATLAB dedicado al estudio de funciones de transferencias de sistemas dinámicos, por lo cual nos significo un paso muy grande para encontrar nuestro compensador final el cual mejorara la funcionalidad de la planta.
8. La implementación de nuestro controlador final para la planta fue suficiente con la colocación de un compensador ya que la planta responde como un sistema de primer orden en el cual la única variable significativa a mejorar es su tiempo de estabilización, lo cual nos representa el tiempo de convergencia mucho más rápido en la planta.

9. Recomendaciones

1. Se recomienda tener una base sólida en cuanto al conocimiento total de la planta que se quiere simular, variables que inciden en el sistema, variables que se tomarán en cuenta en la simulación, variables que no se tomarán en cuenta, etc, ya que de esto depende la profundidad y complejidad de la planta.
2. Se debe tener un buen conocimiento de los modelos de Identificación y las variables que estos manejan ya que sin esta base no se llegaría a comprender la información que nos otorgan las gráficas obtenidas por medio del programa MATLAB.

3. Al momento de utilizar la herramienta SIMULINK de MATLAB, tener en cuenta todas las características de los diferentes bloques a emplear ya que de otra manera al momento de querer correr la simulación se obtendrán errores comunes como por ejemplo: la variable de entrada no es del tipo correcto, el tiempo de muestreo de un bloque con otro no son los mismos y que representa un error en el modelo, etc.
4. Se recomienda que la entrada al sistema sea la más óptima para la planta, queriendo decir con esto, que la señal de entrada la identificación debe otorgar la mayor cantidad de información sobre la planta ya que sin esto el modelo final sería equivocado.

10. Agradecimientos

A nuestro director, el MSc. César Martín Moreno de igual manera la MSc. María Antonieta Álvarez por su valiosa colaboración para poder desarrollar con éxito el presente proyecto de graduación.

Un agradecimiento especial a nuestros padres, hermanos y a todas aquellas personas que siempre nos brindaron su apoyo y ayuda incondicional.

11. Referencias

- [1] GARRIDO, Santiago. “Identificación, Estimación de Sistemas No-Lineales mediante RGO” 1990, Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática:
<http://roboticslab.uc3m.es/publications/SGarridoPhD.pdf>, pag.1, 2
- [2] L. A. Zadeh. From circuit theory to system theory. In Proc. IRE 50, pages 856–865, 1962.
- [3] Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería,
http://www.upv.es/antenas/Tema_1/breve_r_historica.html
- [4] Escuela Politécnica Salesiana, Antenas Inteligentes, Facultad de Ingeniería Eléctrica
<http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15/11/Capitulo4.pdf>
- [5] Algoritmo Adaptativo con estadística de alto orden. Identificación a ciega de Canales. Tesis Doctoral por Enrique Alameda Hernández, Universidad de Granada,
http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/15003/1/Tesis_ealameda.pdf
- [6] Libro, Antenas: Principio Básicos, Análisis y Diseño, Hernández José.
- [7] Antenas Inteligentes, V Encuentro de Ramas IEEE, Ing Rafael Albornoz, TSU Sohaila Mustafá

- [8] Proposición y simulación de un algoritmo adaptativo para Sistemas de antenas inteligentes, Perla Espinosa Díaz¹ Carlos Villarroel González², 2007
- [9] Introducción a la Identificación de Sistemas, Javier Sedano Franco y José Ramón Villar <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/16/37/a37.pdf>
- [10] Identificación de Sistemas aplicado a un proceso simple de Intercambio de Calor <http://es.scribd.com/doc/58907327/Identificacion-de-un-sistema-de-transferencia-de-energia>
- [11] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Prentice Hall, 2003
- [12] L. Ljung, “*System Identification. Theory for the user*”, Prentice Hall, 1987.