



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Control de Posicionamiento de una Antena Satelital”

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Presentada por:

ERICK FABRIZIO HARO ZUMARRAGA.

LEONARDO ANTONIO RODRIGUEZ JIMENEZ.

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2010

AGRADECIMIENTO

A nuestro tutor, el Ing. Cesar Martin, así como a las demás personas que han formado parte del seminario, con quienes hemos compartido esta gran experiencia de aprendizaje e investigación.

Al Ing. Martin por toda la paciencia que nos ha tenido a lo largo de este trabajo, a Jorge Negrete y Jorge Burbano porque sin ellos tampoco hubiese sido posible esta tesina.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios. A mis padres, a mi hermana por ser quienes me apoyaron durante mi carrera universitaria. A todos mis amigos y personas queridas a los cuales guardaré siempre mi eterna gratitud. Un agradecimiento muy especial a mis tías: Pepita Bajaña, Concepción Haro y Blanca Haro que con su esfuerzo hicieron

posible la realización de este trabajo.

Erick Fabrizzio Haro

Zumárraga.

Agradezco a Dios sobre todas las cosas por haberme dado la fuerza para terminar cada una de mis metas, a mis padres por todo el cariño y el apoyo que me han dado. A mi hermana y toda su familia por siempre darme su apoyo incondicional. Y a todas las personas que han hecho posible este trabajo.

Leonardo Antonio Rodríguez

Jiménez.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



CIB - ESPOL

Ing. César Martín

PROFESOR DEL SEMINARIO

Ing. Dennys Cortéz

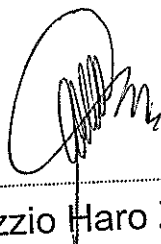
PROFESOR DELEGADO

DEL DECANO


DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesina nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Erick Fabrizzio Haro Zumárraga.



Leonardo Antonio Rodríguez Jiménez.

Leonardo Antonio Rodríguez Jiménez.

RESUMEN

En el **primer capítulo** se realiza un análisis del problema, con el cual se intenta tener una mejor noción de la situación actual del proceso, y todos los factores que intervienen, así como cualquier tipo de perturbación existente.

En el **segundo capítulo** se analizan todas las herramientas necesarias para tener la capacidad de proponer una solución válida que tenga bases teóricas, se hará referencia a los conocimientos obtenidos durante el proceso de aprendizaje y que de alguna manera ayuden a entender un poco mejor la problemática.

En el **tercer capítulo** se presenta una etapa más práctica en la cual se realiza un diseño de la solución del problema que estamos analizando, esta solución como ya se lo había comentado debe tener bases teóricas para poder ser aplicado a la práctica.

En el **cuarto capítulo**, veremos la implementación de la solución con las herramientas escogidas y las consideraciones necesarias para

poder llevar a cabo una buena aproximación a la realidad del proceso elegido.

Por último, en el **quinto capítulo**, realizaremos las pruebas de comprobación de la solución diseñada, para corroborar que cumpla con las expectativas y además de tener una respuesta muy similar a la de una planta real. Además de proponer un controlador basado en las características de la planta identificada

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL	IV
DECLARATORIA EXPRESA	V
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCION	XVI

CAPITULO 1

ANALISIS DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del proceso a identificar.....	1
1.1.1 Modelo de un sistema	2
1.2 El proceso de identificación	2
1.2.1 Obtención de datos entrada-salida.....	2
1.2.2 Tratamiento previo de los datos registrados.....	3
1.2.3 Elección de la estructura del modelo.....	3

1.2.4 Obtención de los parámetros del modelo	3
1.2.5 Validación del modelo	3
1.2.5.1 Poca información.....	3
1.2.5.2 Mala estimación.....	4
1.2.5.3 Parámetros no satisfactorios	4
1.3 Bosquejo de estructura de la planta.....	5
1.4 Factores que intervienen en el proceso	6
1.5 Objetivos de control de posición de la antena.....	6
1.6 Razones para controlar el sistema.....	7
1.7 Elección de un Controlador para nuestra planta	8

CAPITULO 2

ANALISIS DE LAS HERRAMIENTAS Y CONOCIMIENTOS DISPONIBLES..... 10

2.1 Características de la respuesta de un Sistema	10
2.2 Desarrollo de un modelo matemático.....	13
2.3 Reducción del diagrama de bloques	13
2.4 Analizar y Diseñar	14
2.4.1 Un impulso	15
2.4.2 Una entrada escalón (Step).....	15
2.4.3 La entrada rampa	15
2.5 Conceptos importantes de procesos.....	17
2.5.1 Señal de salida.....	18
2.5.2 Señal de referencia	18
2.5.3 Error	18
2.5.4 Señal de control	18
2.5.5 Señal análoga	18
2.5.6 Señal digital.....	18
2.5.7 Convertidor análogo/digital.....	19
2.5.8 Convertidor digital/análogo.....	19
2.5.9 Planta	19

	12
2.5.10 Proceso	19
2.5.11 Sistema	19
2.5.12 Perturbación	19
2.5.13 Sensor	19
2.5.14 Sistema de control en lazo cerrado	20
2.5.15 Sistema de control en lazo abierto	20
2.6 Consideraciones practicas sobre identificación	20
2.6.1 De la obtención de los datos	20
2.6.2 Elección de las señales a medir	21
2.6.3 Elección del tipo de entrada/s	21
2.6.4 Elección del periodo de muestreo	22
2.6.5 Elección del numero de muestras a tomar	22
2.6.6 Tipos de Identificación Lineal	23
2.6.7 Diseño de la señal de entrada	24
2.6.7.1 Señal Pseudo Aleatoria Binaria	25
2.6.7.2 Variables de diseño PRBS	26

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA SOLUCION.....	28
3.1 El proceso de Diseño	28
3.2 Crear un esquemático.....	29
3.2.1 Diseño de nuestro prototipo	32
3.2.2 Elaboración del programa del PIC.....	33
3.3 Diseño de la señal PRBS.....	34
3.3.1 Obtención del Tao dominante de la planta	36
3.3.2 Obtención de tiempo de muestreo máximo	37
3.3.3 Selección del tiempo de muestreo a utilizarse	39
3.3.4 Aspectos a tomar en cuenta para diseño de señales de entrada	40
3.3.5 Selección de señal PRBS a utilizarse.....	41

CAPITULO 4

IMPLEMENTACION Y PRUEBAS	45
4.1 Implementación y Experiencias del Prototipo	45
4.2 Proceso de Identificación	46
4.3 Herramienta SystemIdentification - Ident	46
4.4 Respuesta total de la planta.....	47
4.5 Análisis con diferentes modelos de identificación	49
4.6 Análisis Modelo ARX.....	50
4.7 Análisis Modelo ARMAX	55
4.8 Análisis Modelo Output-Error (OE).....	60
4.9 Análisis Modelo Box-Jenkins	65
4.10 Análisis de Resultados.....	70

CAPITULO 5

DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	72
5.1 Proceso de Diseño	72
5.2 Herramienta SISOTOOL para diseño de controlador.....	73
5.3 Diseño de controlador P para el modelo elegido	74
5.4 Desplazamiento de trayectoria de las raíces	76
5.5 Parámetros del Controlador P.....	77
5.6 Resultados del Controlador.....	78

CONCLUSIONES

ANEXO

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

AR	Auto Regresivo
ARMA	Media Móvil y Auto Regresivo
ARMAX	<i>Auto-Regressive Moving Average with eXogenous inputs</i>
ARX	<i>Auto-Regressive with eXogenous inputs</i>
BJ	Box Jenkins
FIR	Respuesta finita al impulso
MA	Media Móvil
OE	Output error
PI	Controlador Integral
P	Controlador proporcional
PD	Controlador Derivativo
PID	Controlador Proporcional Integral Derivativo
PRBS	Secuencia Pseudo Aleatoria Binaria
Tsw	Tiempo de cambio



CIB · ESPOL

INDICE DE FIGURA

FIGURA 1	MODELO DEL SISTEMA	2
FIGURA 2	ORGANIGRAMA DE LA IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS	4
FIGURA 3	GRAFICO DE LA PLANTA REAL	5
FIGURA 4	ESTABILIDAD DEL SISTEMA.....	11
FIGURA 5	GRAFICO DE UN SISTEMA INESTABLE	12
FIGURA 6	DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA PLANTA	14
FIGURA 7	TIPOS DE ENTRADAS	16
FIGURA 8	SEÑAL PSEUDO ALEATORIA BINARIA	25
FIGURA 9	EL ESPECTRO DE POTENCIA DE UNA SEÑAL PRBS	26
FIGURA 10	DIAGRAMA DE CONTROL DE LA PLANTA	29
FIGURA 11	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA PLANTA	29
FIGURA 12	FUNCIONAMIENTO DEL PIC.....	30
FIGURA 13	FUNCIONAMIENTO DE LAS VELOCIDADES DEL PIC.	31
FIGURA 14	CAMBIOS DE GIRO DEL PIC	31
FIGURA 15	ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	32

FIGURA 16	VENTANA DE BIENVENIDA AL EJECUTABLE DE MATLAB.....	34
FIGURA 17	INTERFAZ GRAFICA USADA PARA EL DISEÑO DE SEÑALES	35
FIGURA 18	RESPUESTA A ENTRADA PASO EN LAZO ABIERTO – PLANTA SIMULADA	36
FIGURA 19	VENTANA DEL INPUTDESIGNGUI.....	41
FIGURA 20	SERIE DE TIEMPO SEÑAL PRBS.....	42
FIGURA 21	CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL PRBS DISEÑADA	42
FIGURA 22	ANALISIS DE CORRELACION DE LA SEÑAL PRBS	43
FIGURA 23	POWERSPECTRUM.....	43
FIGURA 24	FORMA DE LA SEÑAL PRBS DISEÑADA	44
FIGURA 25	INTERFAZ DE HERRAMIENTA SYSTEMIDENTIFICATION.....	46
FIGURA 26	INTERFAZ PARA IMPORTAR DATOS	47
FIGURA 27	GRÁFICO DE LOS DATOS DE ENTRADA Y SALIDA ...	47
FIGURA 28	VALIDACIÓN DE LA SEÑAL	48
FIGURA 29	INTERFAZ DE MODELO ARX	50
FIGURA 30	COMPARACIÓN DEL MODELO CON LA PLANTA REAL	51
FIGURA 31	RESPUESTA A UNA ENTRADA PASO MODELO ARX552N	52
FIGURA 32	RESPUESTA DE FRECUENCIA MODELO ARX552N ..	52
FIGURA 33	Análisis de residuos modelo arx552N	53
FIGURA 34	Diagrama de Simulink con el modelo arx552N sin controlador.....	54
FIGURA 35	GRÁFICA DE SALIDA DE LA PLANTA CON EL MODELO ARX552N	54
FIGURA 36	INTERFAZ DE MODELO ARMAX	55
FIGURA 37	Comparación del modelo amx2221N con la planta real ..	56
FIGURA 38	Respuesta a una entrada paso modelo armax2221N	57

FIGURA 39	RESPUESTA DE FRECUENCIA MODELO ARMAX2221N	57
FIGURA 40	ANÁLISIS DE RESIDUOS MODELO ARMAX2221N	58
FIGURA 41	Diagrama de Simulink con el modelo armax2221N	59
FIGURA 42	SALIDA DE LA PLANTA CON EL MODELO ARMAX2221N	59
FIGURA 43	INTERFAZ DE MODELO OUTPUT ERROR	60
FIGURA 44	COMPARACIÓN DEL MODELO OE442A CON LA PLANTA REAL	61
FIGURA 45	RESPUESTA A UNA ENTRADA PASO MODELO OE442A	62
FIGURA 46	RESPUESTA DE FRECUENCIA MODELO OE442A	62
FIGURA 47	ANÁLISIS DE RESIDUOS MODELO OE442A	63
FIGURA 48	DIAGRAMA DE SIMULINK DEL MODELO OE442A	64
FIGURA 49	SALIDA DE LA PLANTA CON EL MODELO OE442A	64
FIGURA 50	INTERFAZ DE MODELO BOX-JENKINS	65
FIGURA 51	COMPARACIÓN DEL MODELO BJ11111A CON LA PLANTA REAL	66
FIGURA 52	RESPUESTA A UNA ENTRADA PASO MODELO BJ11111A	67
FIGURA 53	RESPUESTA DE FRECUENCIA MODELO BJ11111A	67
FIGURA 54	ANÁLISIS DE RESIDUOS MODELO BJ11111A	68
FIGURA 55	DIAGRAMA DE SIMULINK DEL MODELO BJ11111A	69
FIGURA 56	SALIDA DEL MODELO BJ11111A	69
FIGURA 57	PRESENTACIÓN DE VENTANA DE SISOTOOL	73
FIGURA 58	VENTANA DE CONTROL Y ESTIMACIÓN DEL SISOTOOL	74
FIGURA 59	RESPUESTA DEL MODELO	75
FIGURA 60	VENTANA DE LA TRAYECTORIA DE LAS RAÍCES DEL SISOTOOL	76
FIGURA 61	DIAGRAMA DE BLOQUES DE SIMULINK	77

FIGURA 62	DIAGRAMA DE PARÁMETROS PID	77
FIGURA 63	SEÑAL DE ENTRADA DE LA PLANTA REAL	78
FIGURA 64	DIAGRAMA DE BLOQUE DE SIMULINK CON EL CONTROLADOR PLANTA REAL	78
FIGURA 65	SALIDA DE LA PLANTA REAL LUEGO DE LA PERTURBACIÓN	79

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	MODELOS DE IDENTIFICACIÓN	23
TABLA 2	SELECCIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO	38
TABLA 3	Selección la señal prbs usada en la identificación	40
TABLA 4	SIGNIFICADO DE VARIABLES – IDENTIFICACIÓN A LA PLANTA.....	49
TABLA 5	APROXIMACIONES DE RESPUESTAS OBTENIDAS CON MODELOS ARX.....	50
TABLA 6	MODELO ARX ESCOGIDO	51
TABLA 7	Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos ARX.	55
TABLA 8	MODELO ARMAX ESCOGIDO	56
TABLA 9	Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos OE60	
TABLA 10	MODELO OUTPUT ERROR (OE) ESCOGIDO.....	61
TABLA 11	Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos Box-Jenkins.....	65
TABLA 12	MODELO BOX-JENKINSESCOGIDO	66
TABLA 13	Modelos escogidos para la identificación	70

INTRODUCCIÓN

La Identificación de Sistemas es un proceso poco conocido en nuestro medio, aunque su campo de aplicación es muy amplio.

El presente trabajo se enfocará al estudio e investigación de la Introducción de la Identificación de Sistemas y los diversos métodos que abarca esta técnica.

Entre los objetivos de nuestro proyecto tenemos los siguientes:

- ✓ Implementar un Prototipo que servirá para el Control de Posicionamiento de una Antena.
- ✓ Realizar las diferentes técnicas de Identificación de Sistemas al Prototipo diseñado.
- ✓ Desarrollar el diseño de un Controlador para mejorar el desempeño del Proceso.

En este proyecto de posicionamiento de una antena se creará un prototipo de recepción de señal, la cual será construida con componentes electrónicos, mecánicos y un pequeño motor eléctrico.

Al prototipo será excitado con una señal de entrada impulso, la cual nos dará una respuesta de su salida, la misma que será útil para la obtención de los parámetros necesarios para la identificación de la planta de estudio.

Obtenidos estos parámetros se construirá una señal Pseudo Aleatoria Binaria "PRBS" con un ejecutable de Matlab.

Esta señal PRBS será enviada a la entrada de nuestro prototipo, el cual reaccionará y nos dará una respuesta de salida.

Ambas señales servirán para la Identificación de los diversos modelos paramétricos y no paramétricos del Control de Sistemas como son ARX, ARMAX, Box-Jenkins, Output- Error que serán aplicadas a nuestro proyecto.

Estos modelos serán validados con los datos tomados de la respuesta de salida del prototipo, y se escogerá la mejor aproximación con la ayuda del *IDENT* de Matlab.

La mejor aproximación nos servirá para el diseño del controlador, el cual mejorará el rendimiento del sistema.

CAPITULO 1

ANALISIS DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del proceso a identificar

El principal enfoque de nuestro proyecto es la *investigación* y el estudio de los métodos de Identificación de Sistemas.

Además indagar sobre las principales técnicas de control, como también las diferentes señales que servirán para la obtención de los modelos.

El presente proyecto de control de posicionamiento de una antena está controlado con un circuito electrónico el cual consta de un microcontrolador (PIC) como principal componente, su entrada principal está controlada por un potenciómetro que regula las velocidades del servomotor, también la planta posee parte mecánica, debido a que se necesita un sistema reductor de engranajes para disminuir la velocidad y aumentar el torque

Investigar sobre las técnicas de diseño de un controlador el cual corrija los errores presentados por el sistema de electrónico y mecánico con respecto a la precisión y exactitud del posicionamiento de una antena.

1.1.1 Modelo de un sistema



Figura 1 Modelo del sistema

Cuando se hace necesario conocer el comportamiento de un sistema en unas determinadas condiciones y ante unas determinadas entradas, se puede recurrir a la experimentación sobre dicho sistema y a la observación de sus salidas.

Sin embargo, en muchos casos la experimentación puede resultar compleja o incluso imposible de llevar a cabo, lo que hace necesario trabajar con algún tipo de representación que se aproxime a la realidad, y a la que se conoce como modelo.

Básicamente, un modelo es una herramienta que permite predecir el comportamiento de un sistema sin necesidad de experimentar sobre él.

1.2 El proceso de identificación

En términos generales, el proceso de identificación comprende los siguientes pasos:

1.2.1 Obtención de datos de entrada - salida.

Para ello se debe excitar el sistema mediante la aplicación de una señal de entrada y registrar la evolución de sus entradas y salidas durante un intervalo de tiempo.

1.2.2 Tratamiento previo de los datos registrados.

Los datos registrados están generalmente acompañados de ruidos indeseados u otro tipo de imperfecciones que puede ser necesario corregir antes de iniciar la identificación del modelo. Se trata, por tanto, de ‘preparar’ los datos para facilitar y mejorar el proceso de identificación.

1.2.3 Elección de la estructura del modelo.

Si el modelo que se desea obtener es un modelo paramétrico, el primer paso es determinar la estructura deseada para dicho modelo. Esto se facilita en gran medida si se tiene un cierto conocimiento sobre las leyes físicas que rigen el proceso.

1.2.4 Obtención de los parámetros del modelo.

A continuación se procede a la estimación de los parámetros de la estructura que mejor ajustan la respuesta del modelo a los datos de entrada-salida obtenidos experimentalmente.

1.2.5 Validación del modelo.

El último paso consiste en determinar si el modelo obtenido satisface el grado de exactitud requerido para la aplicación en cuestión. Si se llega a la conclusión de que el modelo no es válido, se deben revisar los siguientes aspectos como posibles causas:

1.2.5.1 Poca información.

El conjunto de datos de entrada-salida no proporciona suficiente información sobre la dinámica del sistema.

1.2.5.2 Mala estimación

La estructura escogida no es capaz de proporcionar una buena descripción del modelo.

1.2.5.3 Parámetro no satisfactorios

El criterio de ajuste de parámetros seleccionado no es el más adecuado.

Dependiendo de la causa estimada, deberá repetirse el proceso de identificación desde el punto correspondiente. Por tanto, el proceso de identificación es un proceso iterativo, cuyos pasos pueden observarse en el organigrama

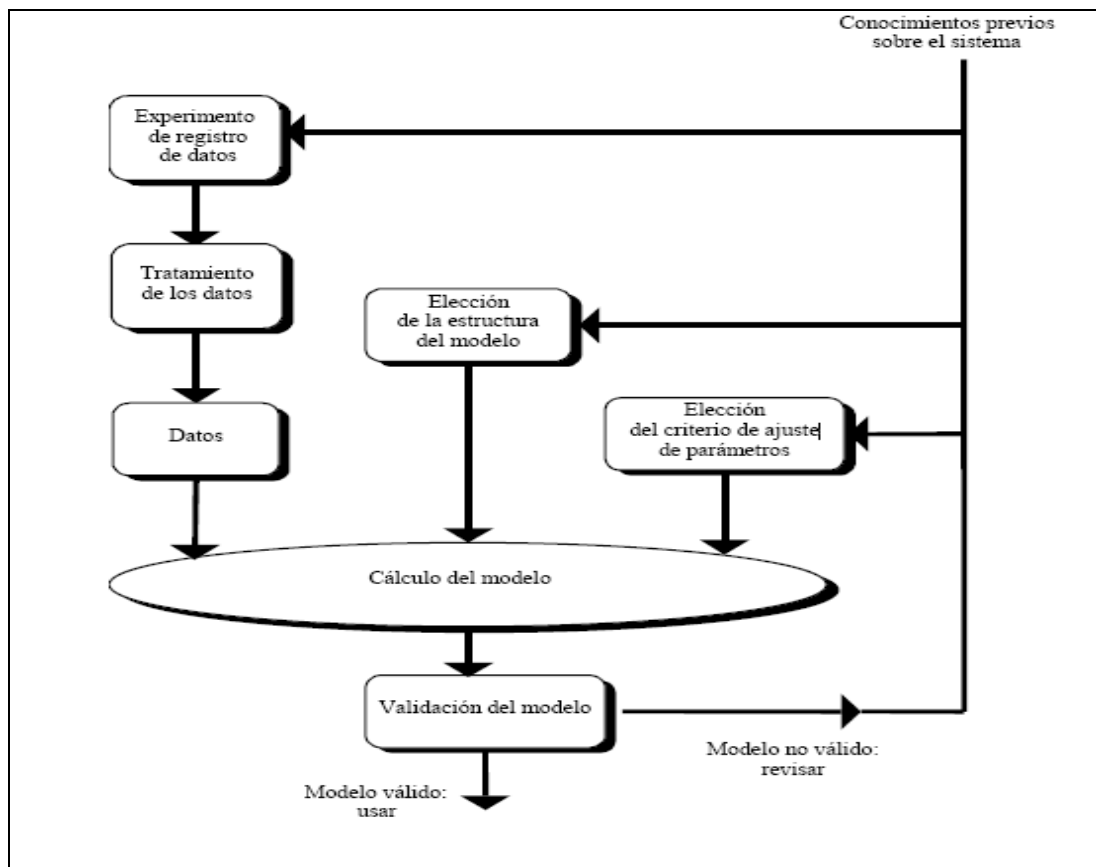


Figura 2 Organigrama de la identificación de sistemas

1.3 Bosquejo de estructura de la planta

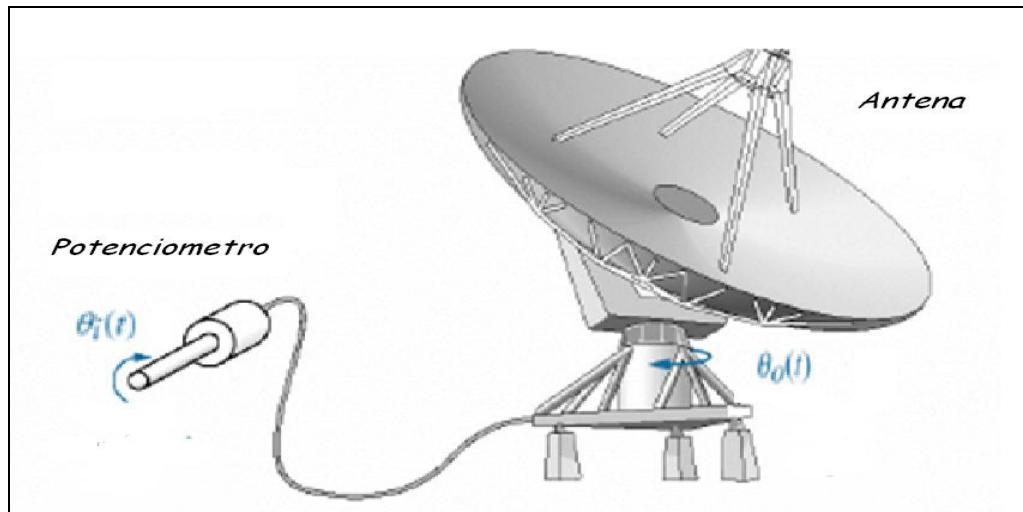


Figura 3 Grafico de la Planta Real

La entrada consta de un potenciómetro el cual al variarlo, el voltaje que se genera al moverlo produce diferentes velocidades, de acuerdo a la programación del pic y explicada en mayor detalle en el capítulo 3.

A la salida del pic encontraremos unos Relés, que son los componentes encargados de proteger el pic de cualquier pico de corriente producido por el servomotor y además los responsables del cambio de giro que esperamos.

El Servomotor se encuentra acoplado a un engranaje pequeño y en serie con otros engranajes de mayor radio los cuales producen el movimiento de la antena.

El engranaje de realimentación está acoplado a un potenciómetro Multi-vueltas el cual nos dará una relación de voltaje, esta relación nos proporciona los datos en función del voltaje de salida y de entrada del sistema.

Para nuestro caso de estudio fue realizada a *lazo abierto*, debido a que es una forma más práctica de identificación, además que presenta ciertas ventajas como por ejemplo es mucho más sencillo de crear un sistema estable, debido a que en lazo cerrado el exceso de corrección puede producir oscilaciones en el sistema produciendo inestabilidad.

1.4 Factores que intervienen en el proceso

En el control de posición de la antena interviene el factor ambiental ya que las ráfagas de viento pueden afectar la posición la antena pero en nuestro caso esto ha sido descartado ya que la planta al ser analizada es un modelo escala de la real.

Otro factor importante a considerar, es la inercia del sistema producto de los engranajes; tomando en consideración el material de los engranajes y el completo acople de los mismos para que no suceda ningún problema de fuga.

1.5 Objetivos de control de posición de la antena

Se pretende *controlar la posición angular (Φ) de una antena parabólica de acuerdo a una referencia dada (Φ_{ref}) actuando sobre la tensión de alimentación del Servomotor (V_a) que mueve la antena a partir de una reductora con engranajes.*

Como toda antena, ésta debe tener línea de vista con el transmisor para su mejor desempeño, por tal motivo se debe colocar en un lugar de buena recepción.

Como se sabe, las ráfagas de viento son capaces de mover objetos pesados, incluso pueden desorientar la antena, por lo cual es necesario contar con un control de posición para reubicar la antena.

En el presente trabajo también vamos hacer uso de un Servomotor modulado por PWM (Pulse-Width Modulation), el cual es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados dependiendo de sus entradas de control.

Este tipo de modulación presenta las ventajas de tener alta precisión y confiabilidad en cuanto al posicionamiento.

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Para realizar un estudio adecuado del controlador de posicionamiento de nuestra antena y a su vez analizar costos, debemos darle una solución adecuada a nuestro diseño y para esto nos hemos visto en la necesidad de aplicar una Identificación de Sistemas.

1.6 Razones para controlar el sistema

Una antena es el elemento que se utiliza en la transmisión o recepción de las ondas electromagnéticas.

Como dispositivo transmisor, la antena debe convertir los componentes de tensión y corriente de la señal en campos eléctricos y magnéticos para que combinados se propaguen a través del espacio.

Inversamente, durante la recepción, la antena debe interceptar los campos eléctricos y magnéticos que constituyen la energía de la señal transmitida para reconvertirla en los valores de tensión y corriente para su amplificación y demodulación.

Su principal función es concentrar en el punto focal la mayor cantidad de ondas electromagnéticas que se reciben desde los equipos electrónicos ubicados en el satélite, para que este campo después sea amplificado a los niveles adecuados y permita su manejo en el sistema de recuperación de la señal (decodificador).

Para analizar el objetivo primordial de nuestro proyecto basta comprender que, si por medio de una antena enviamos una onda de radio en dirección a un objeto, parte de esta onda rebotará y regresará a nuestra antena, la porción de energía devuelta es mínima, dependiendo de la naturaleza del objeto (si es metálico o no), de la potencia usada y de la longitud de onda empleada, pero generalmente es suficiente para ser aprovechada.

Nuestro campo de estudio se centrará básicamente en el control de posicionamiento de una antena con el fin de aprovechar que el usuario final, pueda obtener una alta calidad de recepción de T.V abierta/codificada, o cualquier otra señal de Radio-Frecuencia desde la comodidad de su hogar o sitio donde se encuentre.

1.7 Elección de un Controlador para nuestra planta

El controlador adecuado será determinado mas adelante con la ayuda del software y las aplicaciones vista en seminario de graduación, por lo pronto podemos mencionar de un control P (Proporcional) o un Pi(Proporcional-Integrador)

El diseño de un controlador continuo o discreto, ya sea mediante técnicas clásicas o en variables de estado, requiere de un modelo de la planta a controlar que caracterice su comportamiento dinámico.

Este modelo permite al realizar y validar mediante simulación el ajuste de los parámetros del controlador que permiten obtener una respuesta que satisfaga las especificaciones de diseño.

Un sistema es toda realidad en la que interactúan variables de diferentes tipos para producir señales. Las señales que son de interés para el proyecto se denominan salidas del sistema, mientras que las señales que pueden ser manipuladas libremente son las entradas del mismo. El resto de señales que influyen en la evolución de las salidas pero no pueden ser manipuladas se denominan perturbaciones.

CAPITULO 2

ANALISIS DE LAS HERRAMIENTAS Y CONOCIMIENTOS DISPONIBLES

2.1 Características de la respuesta de un Sistema

La Ingeniería de Sistemas de Control es un campo muy amplio que abarca numerosas disciplinas y numerosas funciones dentro de estas. Para poder analizar y/o diseñar un sistema de control, es necesario conocer las características de la respuesta de dicho sistema.

Es decir un sistema de control provee una salida o respuesta para una entrada o estímulo dada. La entrada representa la respuesta deseada; la salida es la respuesta actual.

En general los sistemas físico reales que forman parte del sistema de control poseen inercias, que le impiden seguir la señal de entrada de manera instantánea, esto implica la existencia de un periodo que es necesario conocer y es denominado Respuesta Transitoria.

Esta respuesta es muy importante puesto que, una respuesta transitoria lenta impaciente a los usuarios, mientras que una respuesta excesivamente rápida los hace sentir incómodos.

La respuesta en el tiempo de un sistema de control además de contar con la respuesta transitoria consta de una Respuesta en Estado Estacionario.

Por respuesta en estado estacionario se entiende la manera como se comporta la salida del sistema conforme t tiende al infinito.

Por lo tanto la respuesta de un sistema se puede describir como:

$$C(t) = C_{tr} + C_{ss}(t)$$

Donde el primer miembro derecho de la ecuación es la respuesta transitoria y el segundo es la respuesta en estado estacionario.

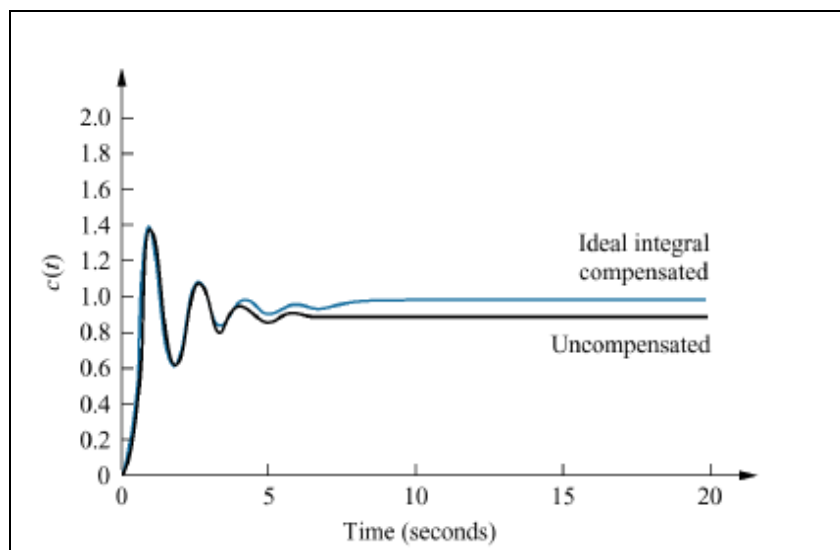


Figura 4 Estabilidad del Sistema

Otro factor que debemos tomar en consideración es la Estabilidad en un Sistema de Control e incluso podría decirse que la propiedad más importante, tanto es así que no puede hablarse de sistema de control si este no es estable.

Un sistema es estable si responde con una variación finita a variaciones finitas de sus señales de entrada. Si se considera un sistema lineal e invariante en el tiempo, la inestabilidad del sistema supondrá una respuesta que aumenta o disminuye de forma exponencial, o una oscilación cuya amplitud aumenta exponencialmente.

En esas situaciones el sistema no responde a las acciones de control, por lo que se dice que el sistema se ha ido de control. Este efecto puede provocar situaciones muy peligrosas y fallos catastróficos, de ahí la importancia de estudiar la estabilidad.

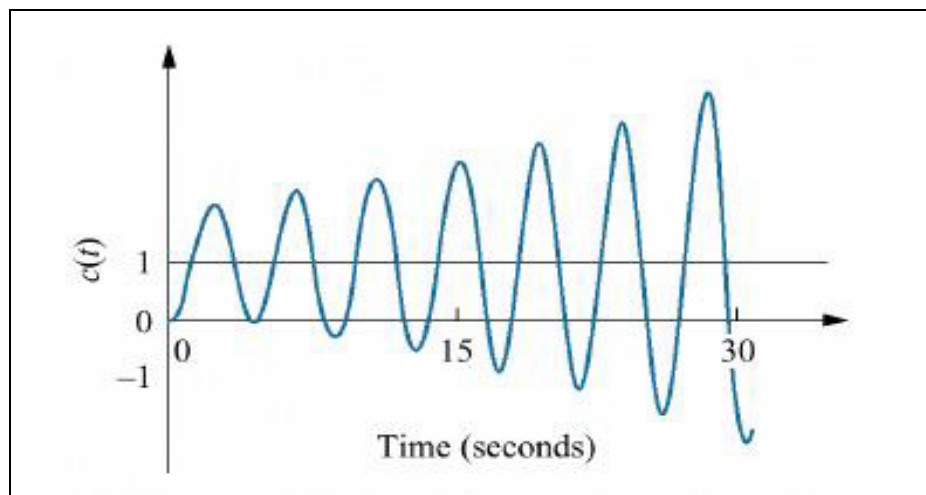


Figura 5 Grafico de un Sistema Inestable

A parte de los objetivos antes mencionados para el análisis y diseño de un Sistema de Control tenemos que poner en consideración otros factores tales como:

- Hardware, por ejemplo al decidir por el tamaño de un motor.
- Factor económico, clave en el diseño de todo Ingeniero.
- Robustez de un Sistema

Tenemos que tomar en cuenta que la relación entre los parámetros cambia y sus efectos sobre el funcionamiento no es lineal.

Por lo tanto, el Ingeniero debe crear un diseño robusto tal que el sistema no sea sensible a los cambios de los parámetros.

2.2 Desarrollo de un modelo matemático

Una vez que el esquemático ha sido dibujado, el diseñador utiliza las leyes físicas, tales como las leyes de Kirchhoff para las redes eléctricas y las leyes de Newton para los sistemas mecánicos, junto con las asunciones necesarias para modelar el sistema matemáticamente.

Las leyes de Kirchhoff y Newton conducen a modelos matemáticos que describen la relación entre la entrada y la salida de sistemas dinámicos.

2.3 Reducción del Diagrama de Bloques

Modelos de los subsistemas son interconectados para crear diagramas de bloques de sistemas más grandes, donde cada bloque tiene una descripción matemática.

Hay dos señales, la entrada angular y la salida angular, que son externas al sistema.

Para evaluar la respuesta del sistema necesitamos reducir el diagrama de bloques del sistema a un simple bloque con una descripción matemática que represente al sistema desde su entrada a su salida como se muestra en la figura.

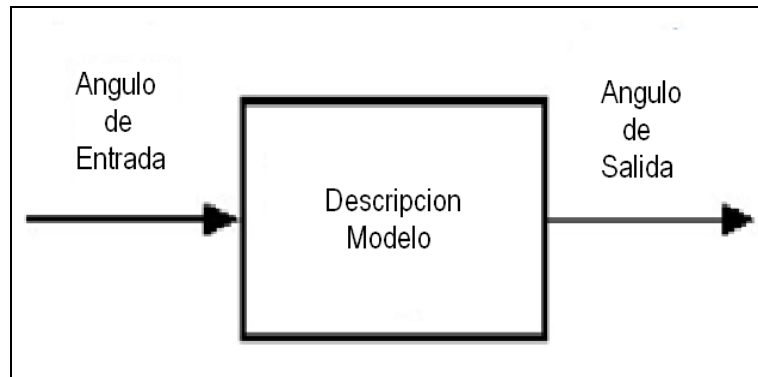


Figura 6 Diagrama de Bloque de la Planta

Una vez que el diagrama de bloques ha sido reducido, estamos listos para analizar y diseñar el sistema.

2.4 Analizar y Diseñar

La siguiente fase del proceso, siguiendo la reducción del diagrama de bloques, es análisis y diseño. En esta fase, el ingeniero analiza el sistema para ver si las especificaciones de respuesta y los requerimientos de funcionamiento pueden ser conseguidos mediante simples ajustes de los parámetros del sistema. Si las especificaciones no pueden ser alcanzadas, el diseñador entonces diseña hardware adicional para alcanzar el funcionamiento deseado.

Señales de prueba de entrada son usadas, tanto analíticamente como durante las pruebas, para verificar el diseño. No es práctico escoger señales de entrada complicadas para analizar el funcionamiento del sistema.

De este modo, el Ingeniero selecciona entradas de prueba estándar. Estas entradas son impulsos, escalones, rampas, parábolas y sinusoidales.

2.4.1 Un impulso.

Es infinito en $t=0$ y cero en cualquier otra parte. El área debajo del impulso unitario es 1, una onda de este tipo de forma es usado para ubicar energía inicial en un sistema tal que la respuesta debido a la energía inicial es solamente la respuesta transitoria del sistema. A partir de esta respuesta, el diseñador puede derivar un modelo del sistema.

2.4.2 Una entrada escalón (Step).

Representa un comando constante, tal como posición, velocidad, o aceleración. Típicamente, el comando de entrada escalón es de la misma forma que la salida. Por ejemplo si la salida del sistema es posición, como esta es para el sistema de control de posición acimutal del sistema, la entrada escalón representa una entrada deseada y la salida representa la posición actual.

Si la salida del sistema es velocidad, la entrada escalón representa la velocidad constante deseada y la salida representa la velocidad actual.

El diseñador usa entradas escalón debido a que tanto la respuesta transitoria como la respuesta de estado estable son claramente visibles y pueden ser evaluadas.

2.4.3 La entrada rampa

Representa un comando que crece linealmente. Por ejemplo, si la salida del sistema es posición, la entrada rampa representa una posición que crece linealmente, tal como la encontrada cuando se sigue un satélite que se mueve a través del cielo con velocidad constante.

Si la salida del sistema es velocidad, la entrada rampa representa una velocidad que crece linealmente. La respuesta a una señal de prueba tipo rampa produce información adicional acerca del error de estado estable.

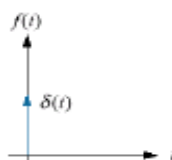
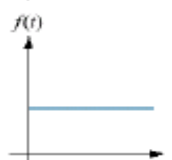
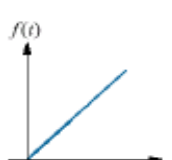
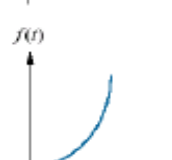
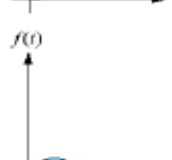
Input	Function	Description	Sketch	Use
Impulse	$\delta(t)$	$\delta(t) = \infty$ for $0^- < t < 0^+$ $= 0$ elsewhere $\int_{0^-}^{0^+} \delta(t) dt = 1$		Transient response Modeling
Step	$u(t)$	$u(t) = 1$ for $t > 0$ $= 0$ for $t < 0$		Transient response Steady-state error
Ramp	$tu(t)$	$tu(t) = t$ for $t \geq 0$ $= 0$ elsewhere		Steady-state error
Parabola	$\frac{1}{2}t^2u(t)$	$\frac{1}{2}t^2u(t) = \frac{1}{2}t^2$ for $t \geq 0$ $= 0$ elsewhere		Steady-state error
Sinusoid	$\sin \omega t$			Transient response Modeling Steady-state error

Figura 7 Tipos de entradas

Grafico tomado del libro **Sistemas de Control** (Alejandro Méndez T)

El ingeniero de sistemas de control debe tomar en consideración otras características de los sistemas de control retro-alimentados. Por ejemplo, el comportamiento de los sistemas de control es alterado debido a fluctuaciones en los valores de los componentes o de los parámetros del sistema.

Estas variaciones pueden ser causadas por temperatura, presión, u otros cambios ambientales.

Los sistemas deben ser construidos de tal forma que estas fluctuaciones no degraden el comportamiento del sistema más allá de las fronteras especificadas.

Un análisis de sensibilidad puede producir el porcentaje de cambio en una especificación como una función de un cambio en un parámetro del sistema.

Uno de los objetivos del diseñador, entonces es construir un sistema de sensibilidad mínima sobre un esperado rango de cambio medio-ambiental.

2.5 Conceptos importantes de procesos

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc.

Como el control automático va ligado a, prácticamente, todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.), este documento ha sido desarrollado sin preferencia hacia alguna disciplina determinada, de tal manera que permita construir un controlador análogo.

Se construirá un servosistema de posición con elementos de fácil consecución en el mercado local. Posteriormente, luego de familiarizarse con el funcionamiento del sistema, hallará el modelo matemático del mismo por métodos experimentales.

Con la ayuda del software MATLAB se hallará información importante sobre la dinámica del mismo. El conocimiento del funcionamiento del sistema junto con el análisis de la función de transferencia de lazo

abierto y del Lugar de las Raíces darán las bases necesarias para seleccionar el controlador.

Para continuar con el tema es necesario definir ciertos términos básicos.

2.5.1 Señal de salida.

Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.

2.5.2 Señal de referencia.

Es el valor que se desea que alcance la señal de salida.

2.5.3 Error.

Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

2.5.4 Señal de control.

Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error.

2.5.5 Señal análoga.

Es una señal continua en el tiempo.

2.5.6 Señal digital.

Es una señal que solo toma valores de 1 y 0. El PC solo envía y/o recibe señales digitales.

2.5.7 Convertidor análogo/digital.

Es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 y 0).

2.5.8 Convertidor digital/análogo.

Es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).

2.5.9 Planta.

Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

2.5.10 Proceso.

Operación que conduce a un resultado determinado.

2.5.11 Sistema.

Consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

2.5.12 Perturbación.

Es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

2.5.13 Sensor.

Es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

2.5.14 Sistema de control en lazo cerrado.

Es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado.

2.5.15 Sistema de control en lazo abierto.

En estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

2.6 Consideraciones prácticas sobre identificación

2.6.1 De la obtención de los datos

El primer paso dentro del proceso de identificación es realizar algún tipo de experimento sobre el sistema bajo estudio para obtener los datos de entrada-salida que servirán de base para la obtención del modelo final.

Para que el proceso de identificación sea satisfactorio, es necesario que los datos utilizados para tal fin contengan información significativa sobre el sistema. Esto implica un cuidadoso diseño del experimento de adquisición de datos, debiéndose tomar una serie de decisiones respecto a las señales que deben ser medidas, el periodo de muestreo a utilizar, el tipo de entrada más adecuada, el número de datos a almacenar, etc.

2.6.2 Elección de las señales a medir

La primera decisión es qué señales se deben registrar (mediante algún tipo de sistema de adquisición y el correspondiente sistema de almacenamiento de datos), y qué señales deben ser manipuladas para excitar al sistema durante el experimento.

Se debe tener en cuenta que pueden existir señales que, aunque afecten a la evolución de la salida, no pueden considerarse como entradas debido a la imposibilidad de actuar sobre ellas. En el caso de que estas señales puedan ser medidas, pueden considerarse también como entradas al sistema (midiéndose sus valores durante el experimento). En caso contrario, deben ser consideradas como perturbaciones.

2.6.3 Elección del tipo de entrada/s

La/s entrada/s al sistema deben ser cuidadosamente elegidas de forma que los datos recogidos proporcionen toda la información posible sobre el sistema.

La señal de entrada debe contener el mayor número de frecuencias posibles. Por ejemplo una señal senoidal pura no es adecuada en un experimento de identificación, puesto que sólo se obtendrá la respuesta del sistema para la frecuencia de dicha señal. Por el contrario, las señales escalonadas (con cambios bruscos) son muy utilizadas, puesto que contienen un espectro suficientemente amplio de frecuencias

Para sistemas lineales, basta con utilizar dos niveles de entrada, preferiblemente barriendo todo el rango de variación permitido. En este tipo de sistemas se suelen utilizar señales binarias de

duración aleatoria (conocidas como señales binarias aleatorias o pseudoaleatorias)

2.6.4 Elección del periodo de muestreo

La elección del periodo de muestreo está directamente relacionada con las constantes de tiempo del sistema, y tiene una influencia decisiva en el experimento de identificación.

Así, un periodo de muestreo muy pequeño puede llevar a la obtención de datos redundantes, que no aportan información sobre el sistema mientras que un periodo de muestreo demasiado grande provoca grandes dificultades a la hora de identificar la dinámica del sistema.

Una regla comúnmente usada consiste en escoger una frecuencia de muestreo alrededor de diez veces el ancho de banda del sistema. Esto corresponde aproximadamente a muestrear en torno a cinco u ocho valores del tiempo de subida de la respuesta al escalón del sistema.

2.6.5 Elección del número de muestras a tomar

En principio, cuanta más información se tenga sobre el sistema, más exacto será el proceso de identificación. En la práctica, el número de muestras a recoger durante el experimento de identificación viene limitado por la capacidad del dispositivo de memoria utilizado. Por tanto, es importante llegar a un buen compromiso en la elección del periodo de muestreo y el número de muestras a tomar.

2.6.6 Tipos de Identificación Lineal

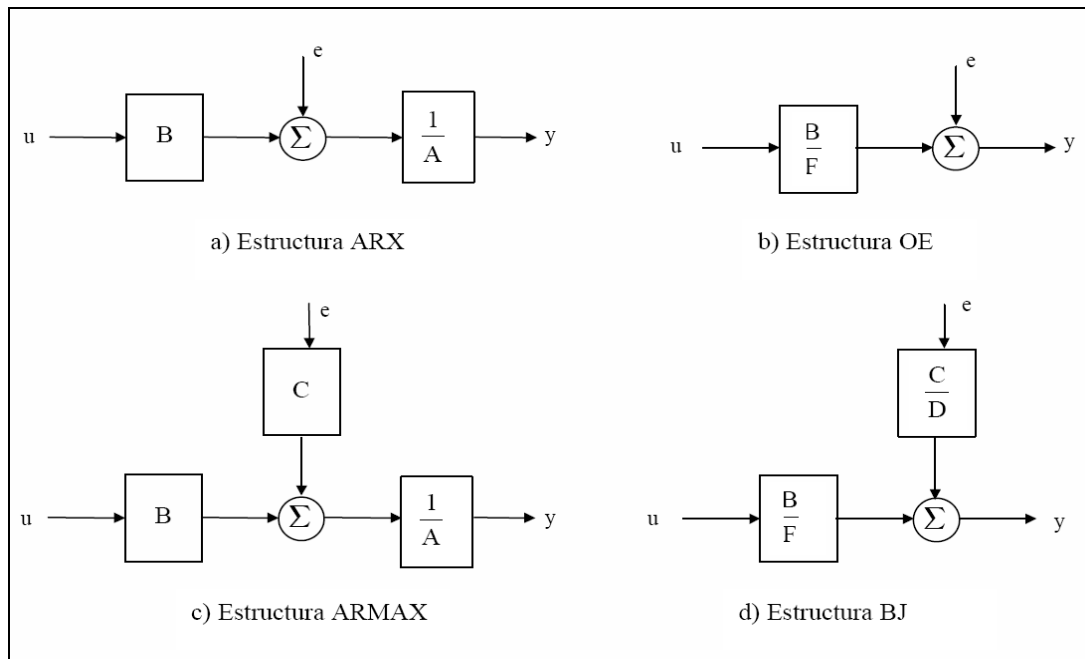
A continuación se nombrará algunos de los Métodos Paramétricos aplicados en la identificación de nuestra planta:

- ARX (*Auto-Regressive with eXogenous inputs*)
- ARMAX (*Auto-Regressive Moving Average with eXogenous inputs*)
- Box-Jenkins
- Error de salida

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

Tabla 1 Modelos de Identificación

A continuación se muestra e diagrama de bloques equivalente para cada uno de los modelos anteriormente mencionados.



Cada una de las estructuras ARX, ARMAX, OE o BJ, tienen sus propias características y debe ser elegida fundamentalmente en función del punto en el que se prevé que se añade el ruido en el sistema.

En cualquier caso, puede ser necesario ensayar con varias estructuras y con varios órdenes dentro de una misma estructura hasta encontrar un modelo satisfactorio.

2.6.7 Diseño de la señal de entrada

Una señal de entrada debe ser amigable con la planta. Esto es originado de la comunidad de control de procesos, motivado por el deseo de experimentos de identificación que cumplan con lo requerido en la práctica.

Una prueba amigable busca datos orientados a un modelo adecuado dentro de un aceptable periodo de tiempo, manteniendo las variaciones de la entrada y la salida dentro de restricciones definidas por el usuario.

2.6.7.1 Señal Pseudo Aleatoria Binaria

Es una entrada determinística periódica que puede ser generada usando registros de desplazamiento y algebra booleana.

Las variables principales de diseño son el tiempo de conmutación (tsw), numero de registros a desplazar (nr), y la amplitud de la señal.

Sus propiedades de auto-correlación y correlación cruzada, se asemejan a las del ruido blanco.

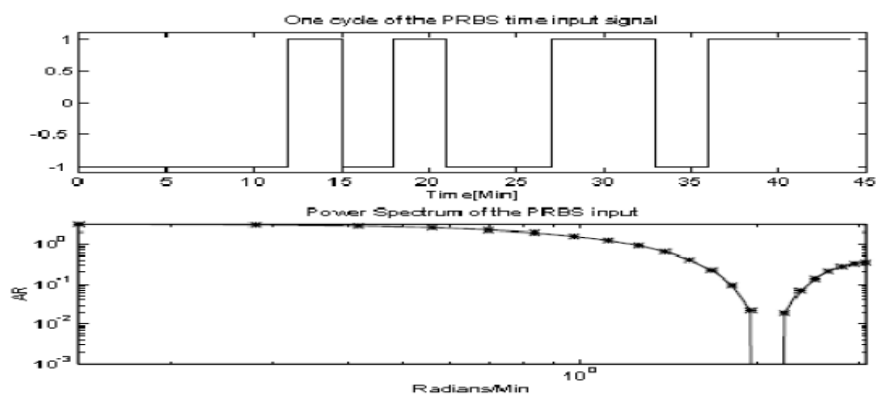


Figura 8 señal Pseudo Aleatoria Binaria

PRBS para $T_{\text{muestreo}} = 1$, $T_{\text{sw}} = 3$ y magnitud = ± 1 .

2.6.7.2 Variables de diseño PRBS

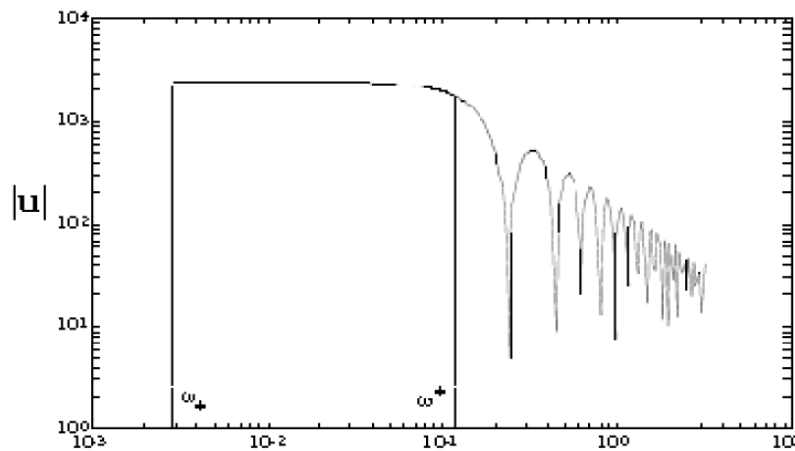


Figura 9 El espectro de potencia de una señal PRBS

El espectro de potencia de una señal PRBS está dado por:

$$\phi_u(\omega) = \frac{a^2(N+1)T_{sw}}{N} \left[\frac{\sin\left(\frac{\omega T_{sw}}{2}\right)}{\frac{\omega T_{sw}}{2}} \right]^2$$

Donde a es la amplitud de la señal PRBS, T_{sw} es el tiempo de conmutación y $N = 2^{nr} - 1$.

El rango de frecuencias útil para excitación de la PRBS es:

$$\omega_+ = \frac{2\pi}{NT_{sw}} \leq \omega \leq 2 \cdot \frac{8}{T_{sw}} = \omega^+$$

Para propósitos de control y si se tiene conocimiento a priori de las constantes de tiempo dominantes en lazo abierto, se puede usar:

$$\omega_+ \leq \frac{1}{\beta_s \tau_{\text{dom}}^H} \leq \omega \leq \frac{\alpha_s}{\tau_{\text{dom}}^L} \leq \omega^+$$

$\tau_{\text{dom}}^L \equiv$ estimación baja de constante de tiempo dominante

$\tau_{\text{dom}}^H \equiv$ estimación alta de constante de tiempo dominante

$\beta_s \equiv$ factor que representa tiempo de estabilización del proceso

$\alpha_s \equiv$ factor que representa velocidad de lazo cerrado

como múltiplo del tiempo de respuesta en lazo abierto

$$T_{\text{sw}} \leq \frac{2.8 \tau_{\text{dom}}^L}{\alpha_s} \quad N_s = 2^{rn} - 1 \geq \frac{2\pi \beta_s \tau_{\text{dom}}^H}{T_{\text{sw}}}$$

Nr y Ns deben ser enteros.

Tsw debe ser un entero múltiplo de T.

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA SOLUCION

3.1 El proceso de Diseño

Comenzamos transformando los requerimientos en un sistema físico. Usando los requerimientos, especificaciones de diseño tales como respuesta transitoria deseada y la precisión del estado estable son determinadas.

El diseñador ahora traslada una descripción cualitativa del sistema en un diagrama de bloques funcional que describe las partes componentes del sistema y muestra sus interconexiones.

A continuación se mostrará un diagrama de bloques funcional para el sistema de control.

Este grafico indica funciones tales como transductor de entrada y controlador, así como la descripción del posible hardware tales como amplificadores y motores.

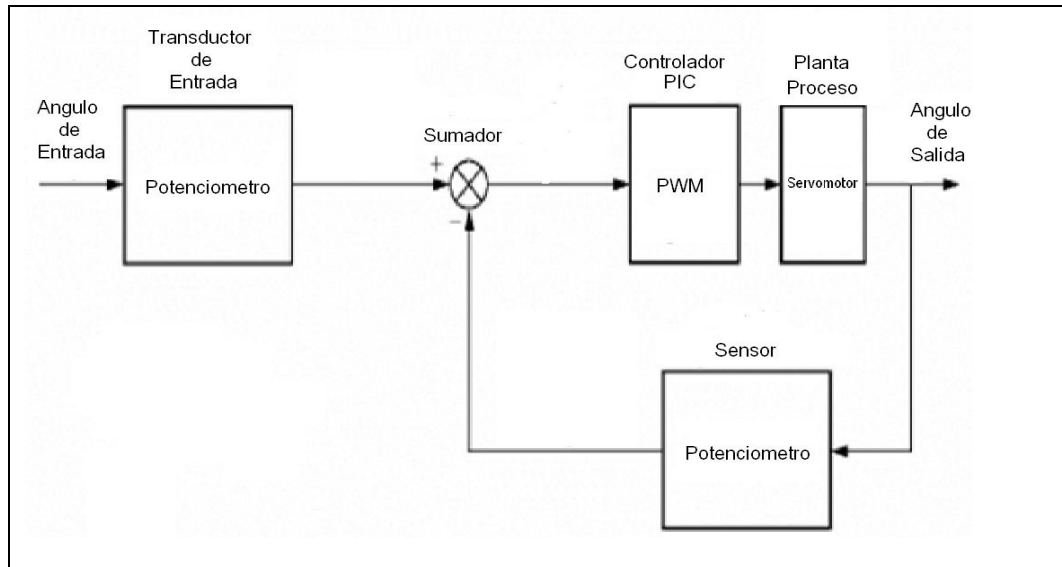


Figura 10 Diagrama de control de la planta

Mediante ese proceso de análisis y diseño, el desarrollo de un diagrama esquemático puede ser iniciado.

3.2 Crear un esquemático

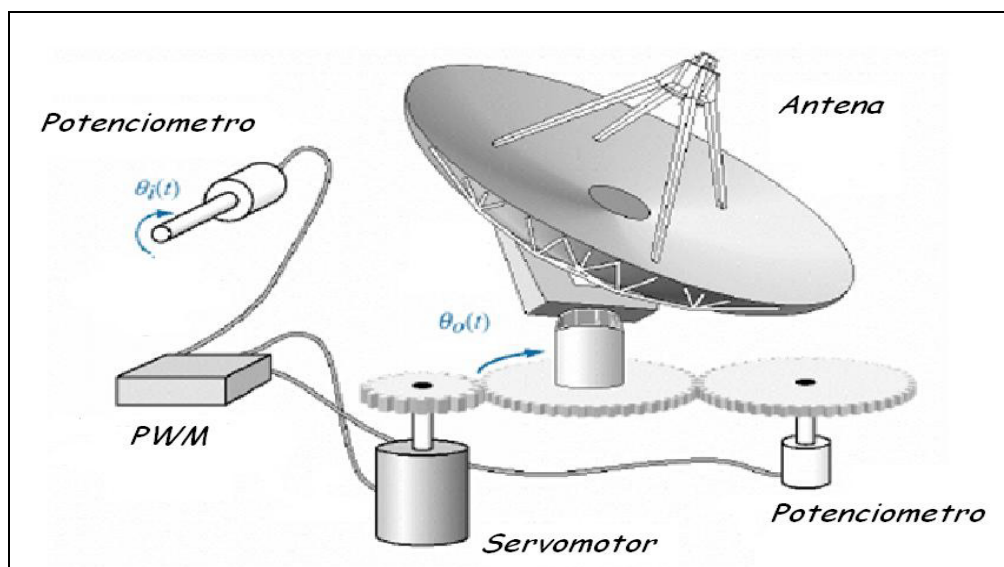


Figura 11 Diagrama esquemático de la planta

Como hemos visto, sistemas de control de posición consisten de componentes eléctricos, mecánicos y electromecánicos.

Después de producir la descripción de un sistema físico, el ingeniero de sistemas de control transforma el sistema físico en un diagrama esquemático.

El ingeniero debe hacer aproximaciones acerca del sistema y despreciar ciertos fenómenos, de otra forma, el esquemático sería demasiado complejo haciendo difícil la extracción de un modelo matemático durante la siguiente fase de la secuencia de análisis y diseño.

El diseñador comienza con una representación esquemática simple y, en las etapas siguientes de la secuencia de análisis y diseño, chequea, por medio del análisis y la simulación mediante computadora, si lo asumido acerca del sistema físico se ajusta a la realidad.

Un diagrama esquemático para el sistema de control de la posición de la antena es el siguiente:

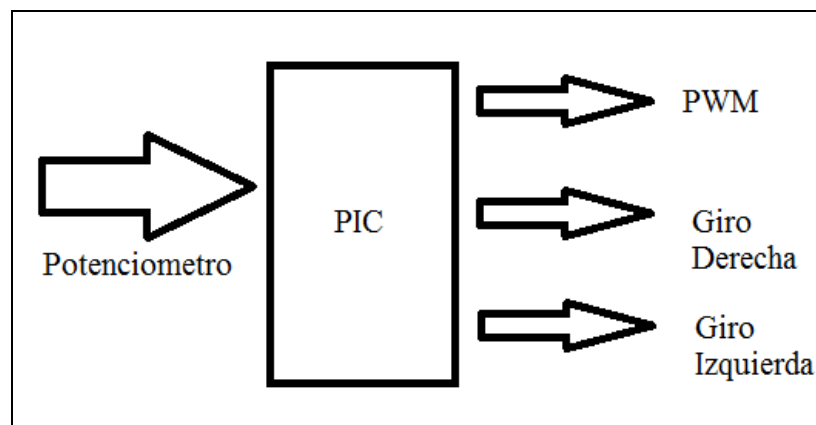


Figura 12 Funcionamiento del pic

La señal de entrada del PIC será la del potenciómetro la cual varia su valor de 5 a 0v, con esta variación de voltaje hemos programado el

picpara que nos brinde 3 velocidades distintas adicional el cambio de giro.

Con respecto a las velocidades se dividen en tres partes, rápida, media y lenta

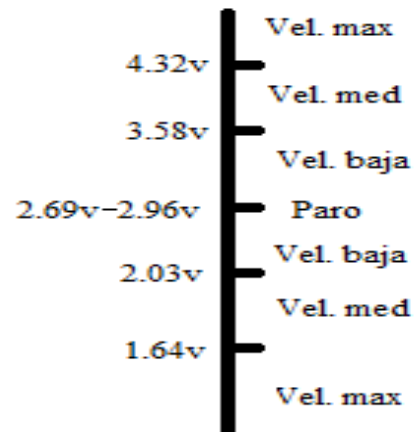


Figura 13 Funcionamiento de las velocidades del pic

De la misma manera se divide el giro, es decir:

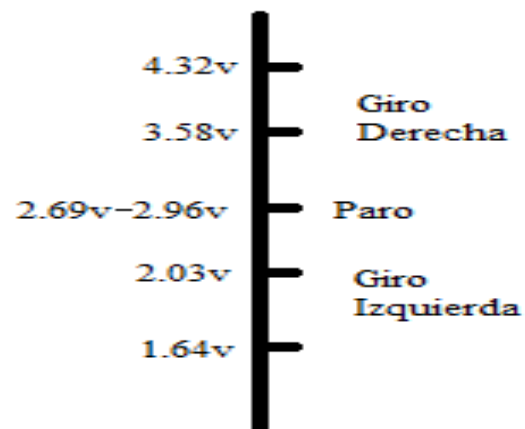


Figura 14 Cambios de giro del pic

3.2.1 Diseño de nuestro prototipo

Circuito Electrónico

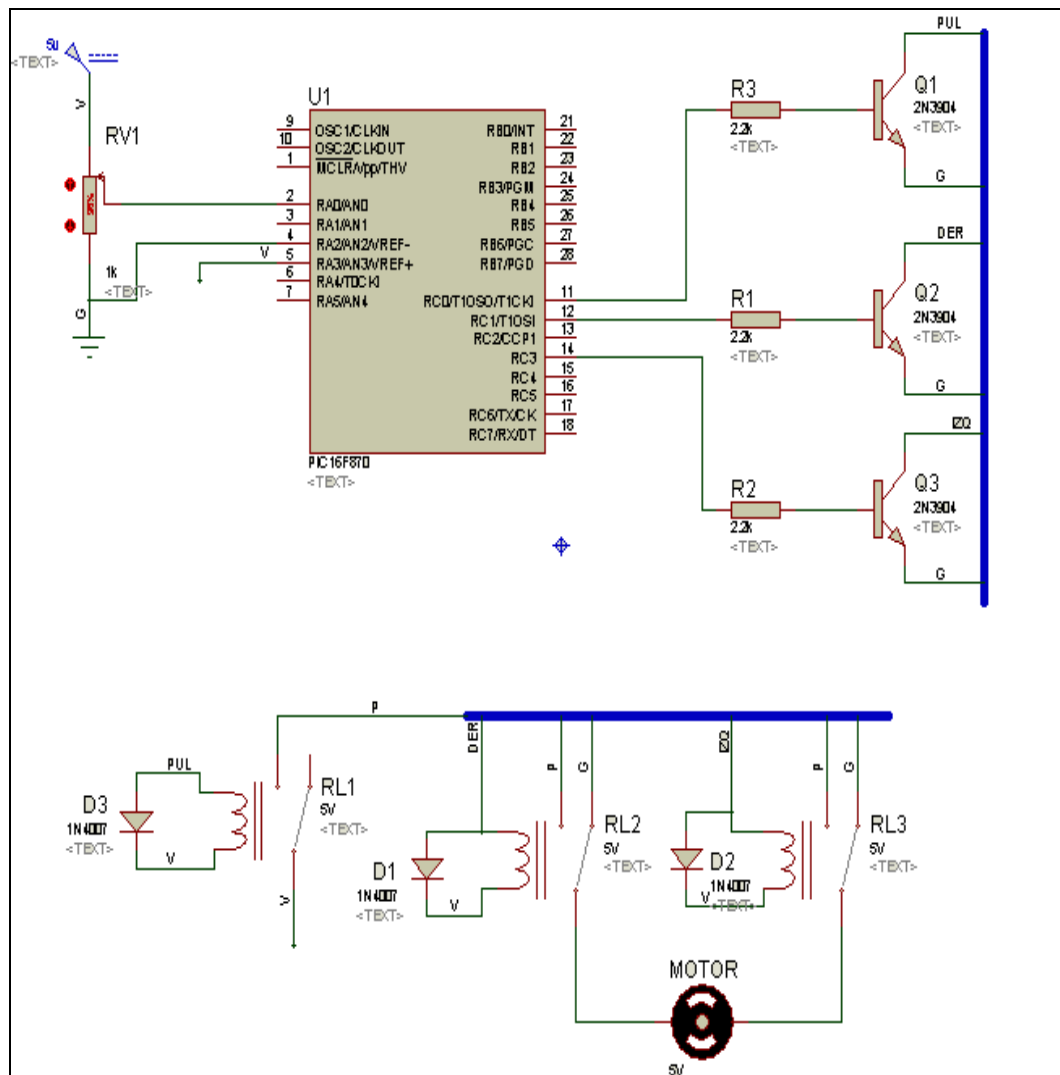


Figura 15 Esquemático del sistema electrónico

Como vemos la salida del pic controla a los transistores que a su vez controlan a los Reles, esto se realiza ya que la corriente máxima que brinda el PIC es de 20ma, si colocamos directamente los Reles al PIC quemaríamos esas salidas.

Adicional se pone un diodo de protección a la bobina del PIC para evitar auto enclavación.

El puerto RA0/AN0 es nuestra entrada analógica la cual para mejorar la lectura se colocó límites de rango que son los mismo de alimentación, es decir, de 0 a 5v los cuales están conectados en RA2 y RA3 respectivamente.

El pin RC0 es por el cual envía la señal de pulso la cual nos brinda el cambio de velocidad. El pin RC1 se activa cuando el nivel de voltaje de entrada le indique gire a la derecha y el pin RC3 se activa cuando el nivel de voltaje de entrada le indique que gire a la izquierda

Los Reles de los giros como vemos utiliza los contactos normalmente cerrados conectados a tierra, lo que hace que el motor no gire a ningún lado, cuando alguno de los Reles se active este cambia de posición y el motor recibe el pulso por un terminal y tierra por el otro terminal logrando polarizar el motor y activándolo.

Todo el sistema trabaja con 5v por lo que es indispensable una fuente con la suficiente corriente para activarlo.

3.2.2 Elaboración del programa del PIC.

La programación fue realizada en microcode que se encargara de realizar el PWM que controlara al motor el cual permite el movimiento por medio de piñones el movimiento de la antena el programa esta detallado en las hojas de anexos

3.3 Diseño de la señal PRBS

Para el diseño de la señal de entrada se escogió una señal PRBS, que será obtenida mediante el programa Input DesignGui, aplicación realizada en Matlab por Daniel E. Rivera y Martin W. Braun.

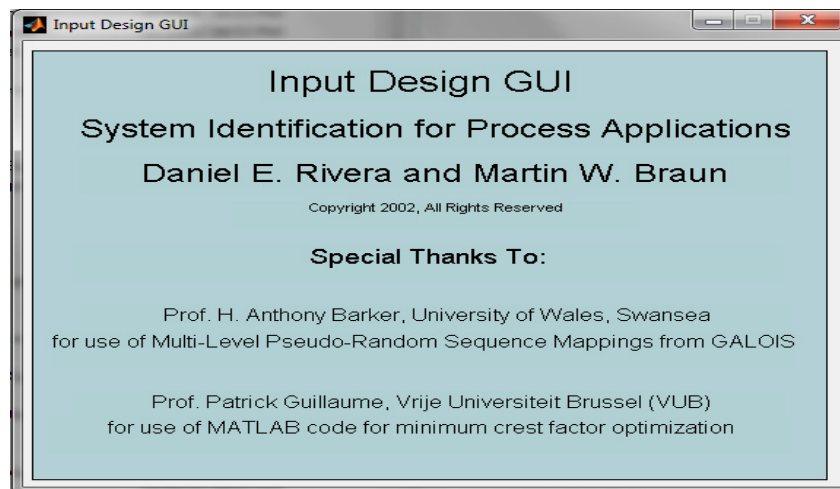


Figura 16 Ventana de bienvenida al ejecutable de Matlab

Se debe de tratar de generar una señal lo más amigable posible, esto quiere decir que será la señal que excite a nuestra planta de estudio y por consiguiente debe ser de corta duración y a su vez que reaccione a lo esperado por nosotros.

Lo que tratamos de decir con corta duración nos referimos a que debe ser una señal de periodo de tiempo de duración no tan extenso, porque como ya sabemos una parada a una planta de una industria real significa perdidas en la producción y por ende a su ingresos como tal.

Para el tipo de planta a analizar, será conveniente diseñar una señal de amplitud de 2.5, con un desfase de 2.5, con lo que obtendremos una señal optima que estará entre 0 y 5; cuando este en alto la antena giraría en sentido horario y cuando este en bajo, giraría en sentido anti-horario.

Corremos el siguiente comando en Matlab:

```
>>inputdesiggui
```

Se abrirá la siguiente ventana:

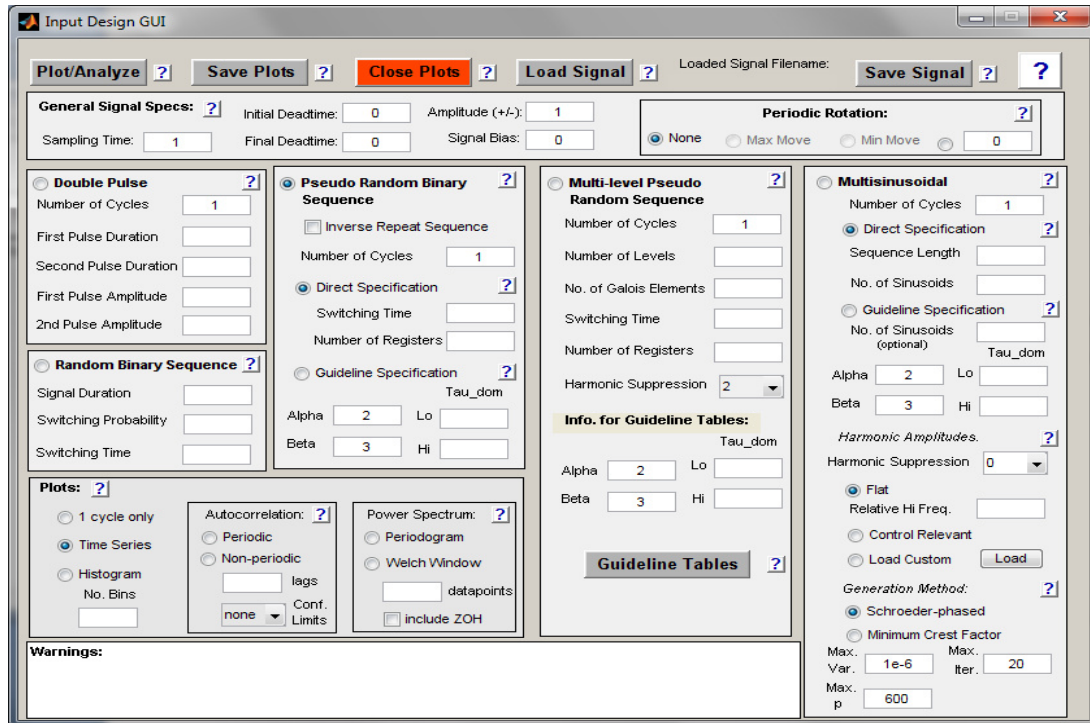


Figura 17 Interfaz Grafica usada para el diseño de señales

En la ventana se debe escoger los parámetros que deberá tener la señal de entrada PRBS:

- ✓ *Sampling Time*
- ✓ *InitialDeadtime*
- ✓ *Final Deadtime*
- ✓ *Amplitude*
- ✓ *Switching Time*
- ✓ *Number of Registers*

3.3.1 Obtención del T_{ao} dominante de la planta

La forma que utilizaremos para obtener el T_{ao} de la planta será a partir de la respuesta a una entrada escalón que se realice a la planta. Luego se encuentra el valor de tiempo de cuando la respuesta está en el 63.3% del valor de final o estado estacionario.

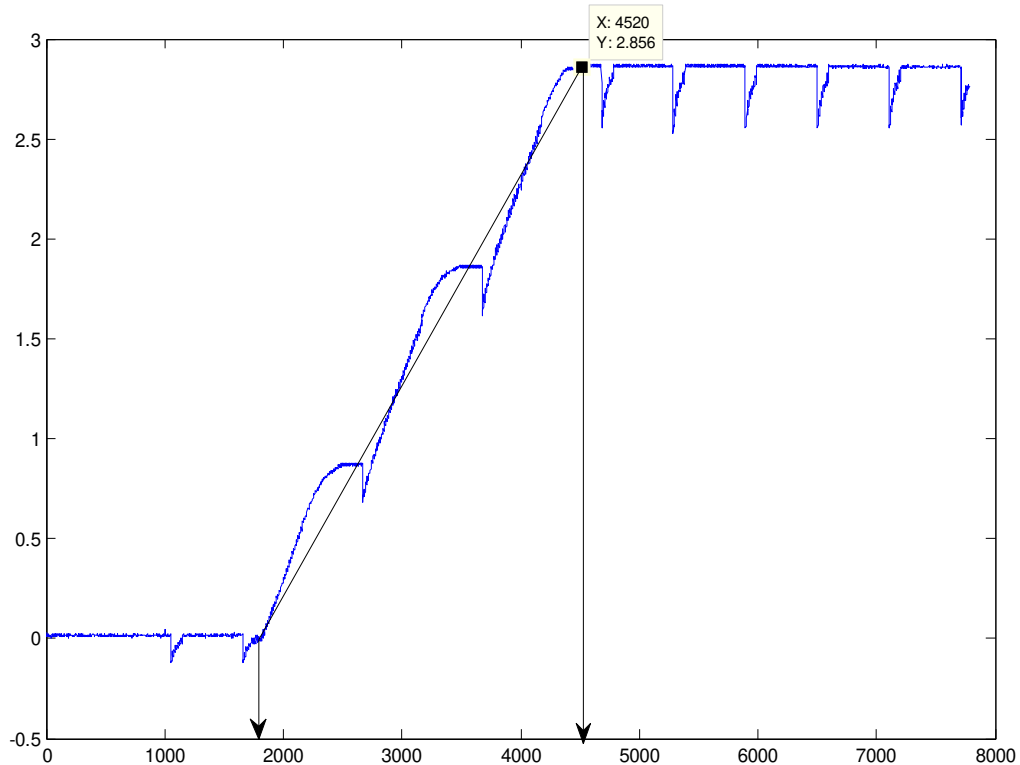


Figura 18 Respuesta a entrada paso en lazo abierto – Planta Simulada

Voltaje inicial = 0

Voltaje final = 2.85

Valor del paso = 2.85

63% = 1.79

$V(x) = 1.79$

X = 3.29 Seg.

3.3.2 Obtención de tiempo de muestreo máximo

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:

$$\omega_N = \frac{\pi}{T}$$

El ancho de banda del sistema se determina del gráfico de Bode y se relaciona con T_{dom} .

$$\omega_B = \frac{1}{T_{dom}}$$

Un criterio que se puede utilizar es que:

$$\omega_N > \alpha \cdot \omega_B$$

Donde α es un entero múltiplo del ancho de banda, que nos lleva a:

$$T_{muestreo} \leq \frac{\pi}{\alpha} \cdot T_{dom}$$

Donde:

T_{Dom} = T_{ao} dominante de la respuesta de la planta = **3.29**

π = Valor de Pi = 3.14159

α = Coeficiente = 1, 2, 3, 4, etc.

ω_N = Frecuencia natural

ω_B = Ancho de banda

$T_{muestreo}$ = Tiempo de muestreo

Alpha	T_{ao}	π	$T_{muestreo}$
1	3.29	3,14159	10.33
2	3.29	3,14159	5.16
3	3.29	3,14159	3.44
4	3.29	3,14159	2.58
5	3.29	3,14159	2.06
6	3.29	3,14159	1.72
7	3.29	3,14159	1.47
8	3.29	3,14159	1.29
9	3.29	3,14159	1.14
10	3.29	3,14159	1.03

Tabla 2 Selección del tiempo de muestreo

$$T_{sw} \leq \frac{2.8 * \tau}{\alpha}$$

Para un α de 1.8, tenemos lo siguiente:

$$T_{SW} = 5$$

3.3.3 Selección del tiempo de muestreo a utilizarse

- ✓ De la ecuación anterior podemos observar que dependiendo del valor asignado a α , se obtiene el valor máximo del tiempo de muestreo a utilizar.
- ✓ Los valores obtenidos en la tabla son sugeridos de la ecuación como valores máximos, es decir se pueden tomar valores menores o iguales a estos.

Puesto que la ecuación nos indica lo siguiente:

$$T_{muestreo} \leq \left(\frac{\pi}{\alpha}\right) \cdot T_{Dom}$$

- ✓ Mientras menor sea el tiempo de muestreo, mayor cantidad de datos se obtendrán.
- ✓ Precisamente para nuestra planta estos valores son muy altos, puesto que el tiempo de reacción para el movimiento de la antena es rápido, por ende el tiempo de identificación sería demasiado largo y la señal de entrada que se diseñará sería de larga duración, lo cual no es conveniente para el Proceso de Identificación.
- ✓ Concluyendo el tiempo de muestreo favorable y escogido para la identificación es de $T_{muestreo}=0.1$ s, como ya se menciono la reacción de nuestra planta es rápida y se deben tomar la mayor cantidad de datos posibles.

3.3.4 Aspectos a tomar en cuenta para diseño de señales de entrada

- ✓ Mientras menor sea el tiempo de muestreo, mayor cantidad de datos se obtendrán.
- ✓ Al momento de diseñar la señal de entrada esta debe ser amigable con la planta y por ende se debe esperar una buena respuesta de la planta.
- ✓ La señal creada debe ser de corta duración, lo que implica un Proceso de Identificación eficiente.
- ✓ El tiempo de cambio (Switching Time) debe ser por lo menos 10 veces mayor que el Tiempo de Muestreo (Sampling Time)

$$\text{Switching Time} \geq 10 T_{\text{muestreo}}$$

	Nombre	Tiempo Muestreo	Tiempo de Cambio (T_{sw})	# Reg
1	PRBS	0.001	2	2
2	PRBS	0.001	3	4
3	PRBS	0.01	2	2
4	PRBS	0.01	4	4
5	PRBS	0.1	3	2
6	PRBS	0.1	5	4

Tabla 3 Selección la señal prbs usada en la identificación

La señal sombreada es la elegida, las anteriores señales presentan un tiempo de duración muy corto o periodos de permanencia en alto o en bajo tan cortos que hacen que la reacción del Servomotor $T_{servomotor}$ sea nula y no haga el cambio de giro oportuno.

3.3.5 Selección de señal PRBS a utilizarse

De acuerdo a los aspectos mencionados anteriormente para la selección de la señal de entrada, elegiremos la siguiente señal.

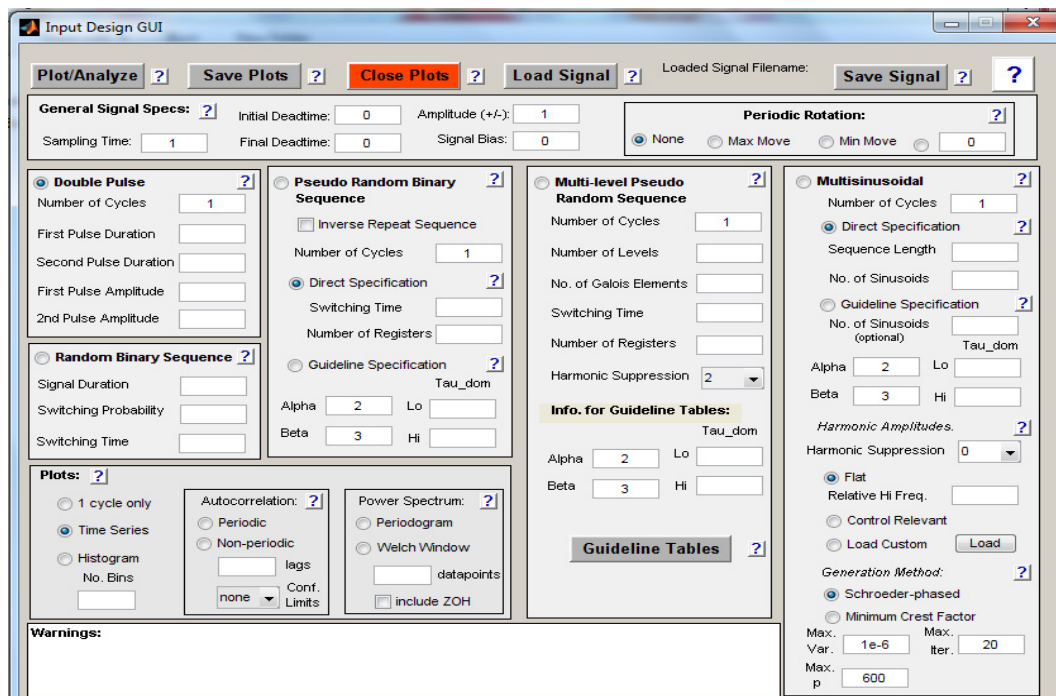


Figura 19 Ventana del Inputdesigngui

Datos asignados para la creación de nuestra señal:

✓ Sampling time = 0.1

✓ Initialdeadtime = 1

- ✓ Final deadtime = 0
- ✓ Amplitud = 2.5
- ✓ Signalbias = 2.5
- ✓ Switching time = 5
- ✓ Numero de registros = 4

Serie de tiempo

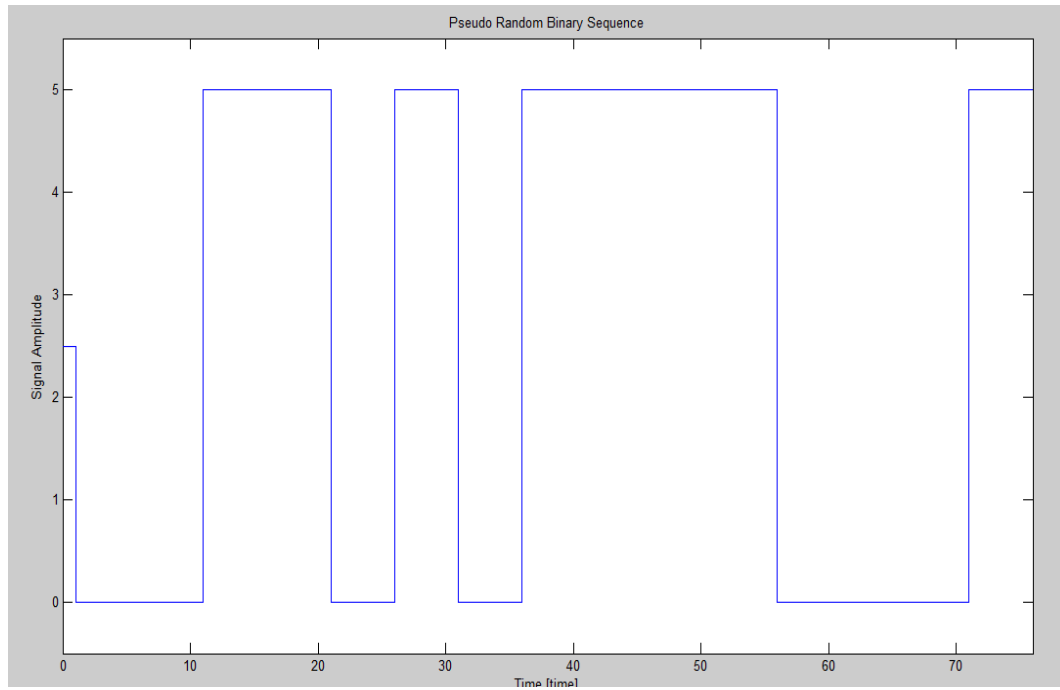


Figura 20 Serie de tiempo señal prbs

PRBS Design & Analysis Table	
General Signal Specs	
Sampling Time	0.100000
Initial Deadtime	1.000000
Final Deadtime	0.000000
Signal Amplitude	2.500000
Signal Bias	2.500000
Signal Design	
Sampling Time	0.100000
Switching Time	5.000000
Number of Shift Registers	4.000000
Number of Cycles	1.000000
Low Frequency Attained [rad/time]	0.083776
High Frequency Attained [rad/time]	0.556000
Length of 1 Cycle	75.000000
Length of Signal	75.000000
Signal Analysis	
Max value of signal	5.000000
Min value of signal	0.000000
Max change in value of signal	5.000000
Mean of signal	2.664474
Standard deviation of signal	2.479678
Variance of signal	6.148802
Entire signal length (with deadtimes)	76.000000
Crest factor	1.374117
Performance Index For Perturbation Signals (PIPS)	99.121837

Figura 21 Características de la señal PRBS diseñada

Autocorrelación

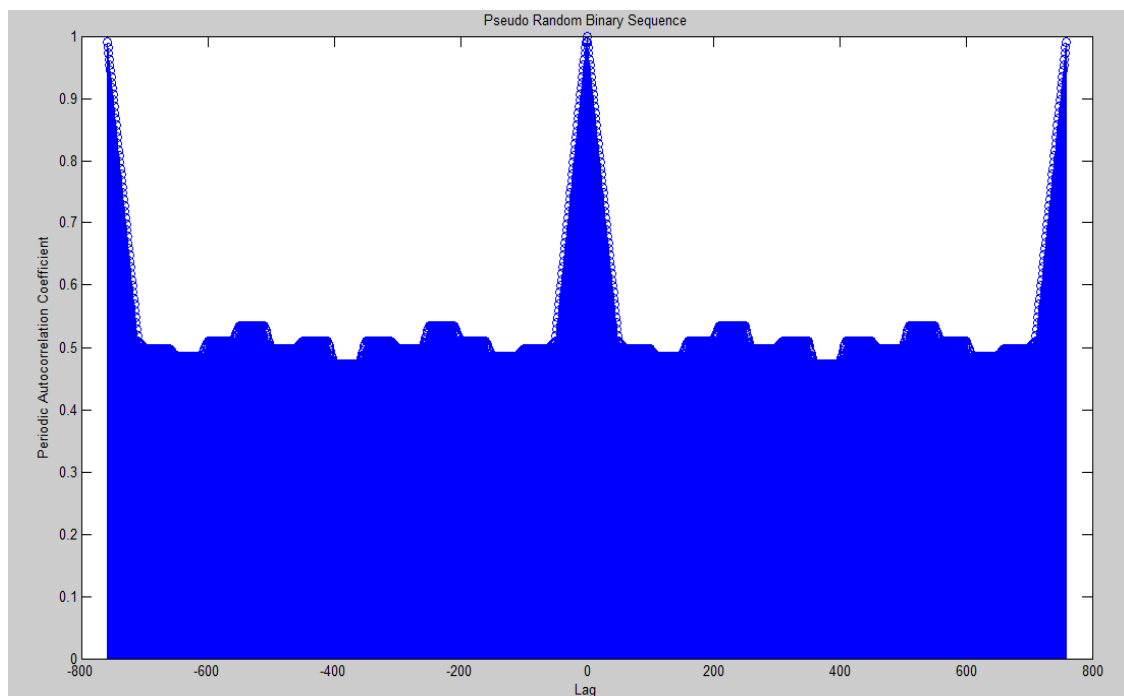


Figura 22 Análisis de correlación de la señal prbs

PowerSpectrum

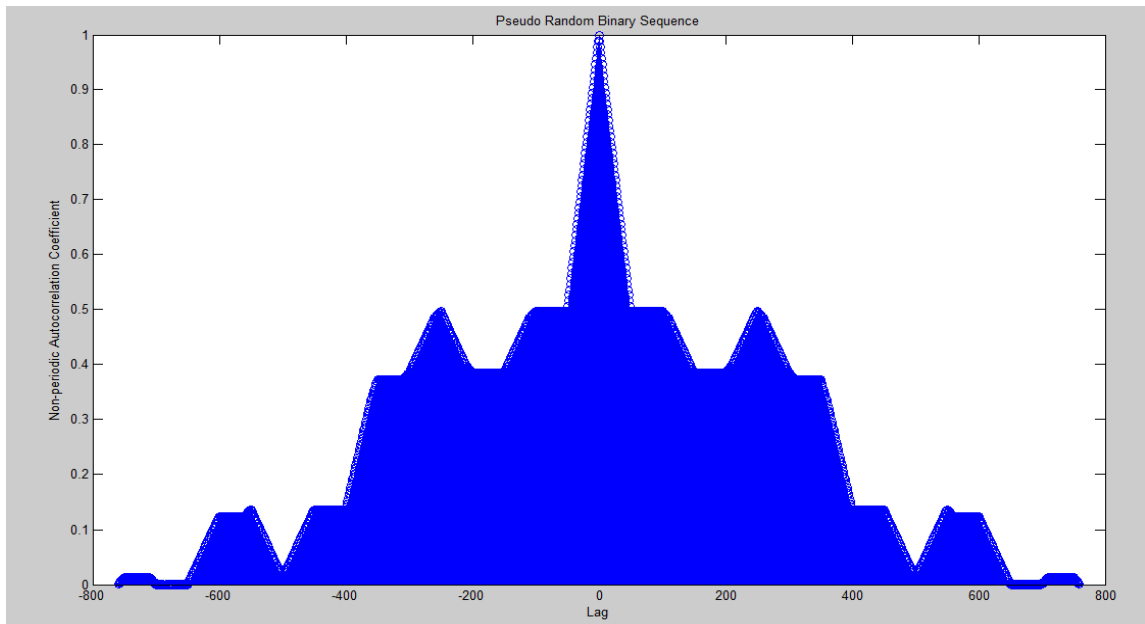


Figura 23 PowerSpectrum

Señal PRBS diseñada y enviada a nuestra planta

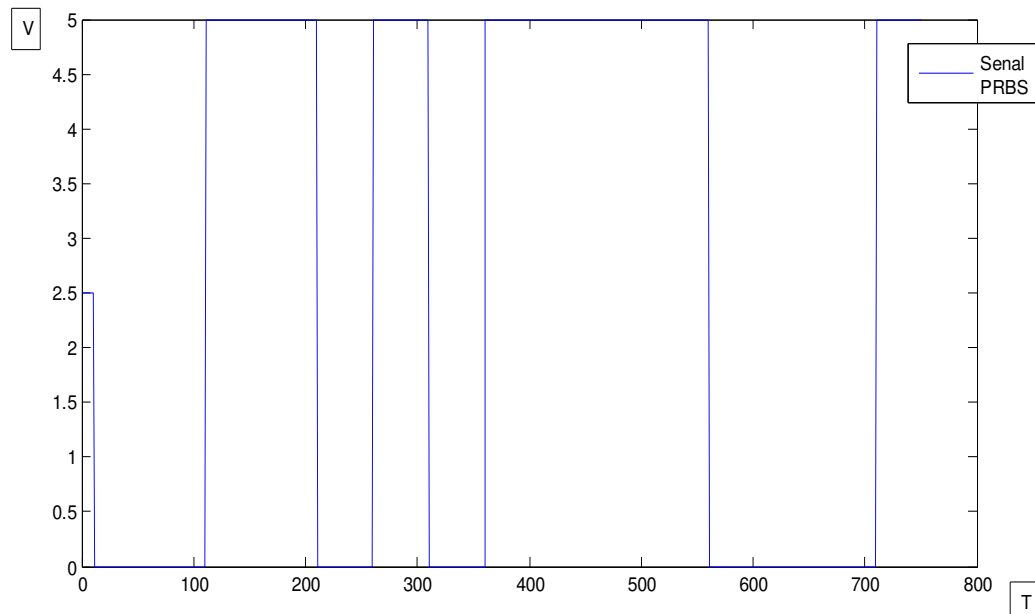


Figura 24 Forma de la señal PRBS diseñada

CAPITULO 4

IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

4.1 Implementación y Experiencias del Prototipo

En la construcción del prototipo, se usaron varios tipos de motores, como motor DC, motor AC y Servomotores, pero finalmente se escogió

el Servomotor porque los demás no cumplieron con el objetivo principal del control.

El motor DC que en un principio teníamos presentaba el inconveniente que tenía altas revoluciones por minuto y por lo tanto no era el ideal para nuestro prototipo. En cambio el motor AC no presenta una buena respuesta a los cambios de polaridad.

El servomotor fue el adecuado para el prototipo, puesto que es un dispositivo que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos.

4.2 Proceso de Identificación

En este capítulo haremos un estudio más profundo y analizaremos los diversos modelos paramétricos vistos en clases e importantes para el análisis de control de un proyecto o planta.

Se realizará un estudio exhaustivo y comparativo entre una planta real y otra simulada, y veremos su comportamiento, similitud y que factores son los que afectan a nuestra planta.

Para realizar este estudio haremos uso del *MATLAB*, específicamente una herramienta importante que es el *IDENT*. Este nos permitirá simular nuestra planta de estudio.

En lo concerniente a la planta real nuestro enfoque principal estará a cargo de la tarjeta de Adquisición de Datos, la cual nos proveerá la información necesaria para posteriormente ser comprada con la planta

simulada, y obtener un modelo de implementación que sean semejantes entre sí.

4.3 Herramienta System Identification – Ident

Para realizar la identificación haremos uso de la herramienta IDENT, la cual nos permite de una forma muy amigable importar los datos, seleccionar rangos los cuales servirán para la identificación y validación de los modelos encontrados.

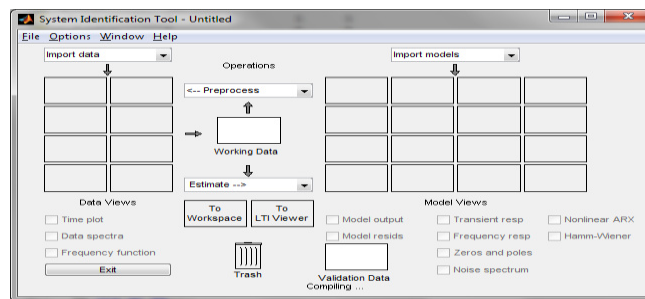


Figura 25 Interfaz de herramienta System Identification

4.4 Respuesta total de la planta

Importación Datos Ident

Colocamos los nombres de entrada, salida, nombre a los datos, tiempo de inicio y por último tiempo de muestreo.

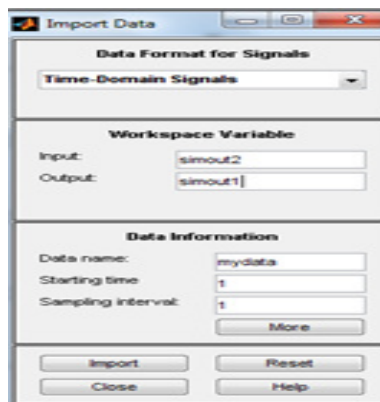


Figura 26 Interfaz para importar datos

Luego podemos graficar entrada vs salida

Validación de la señal

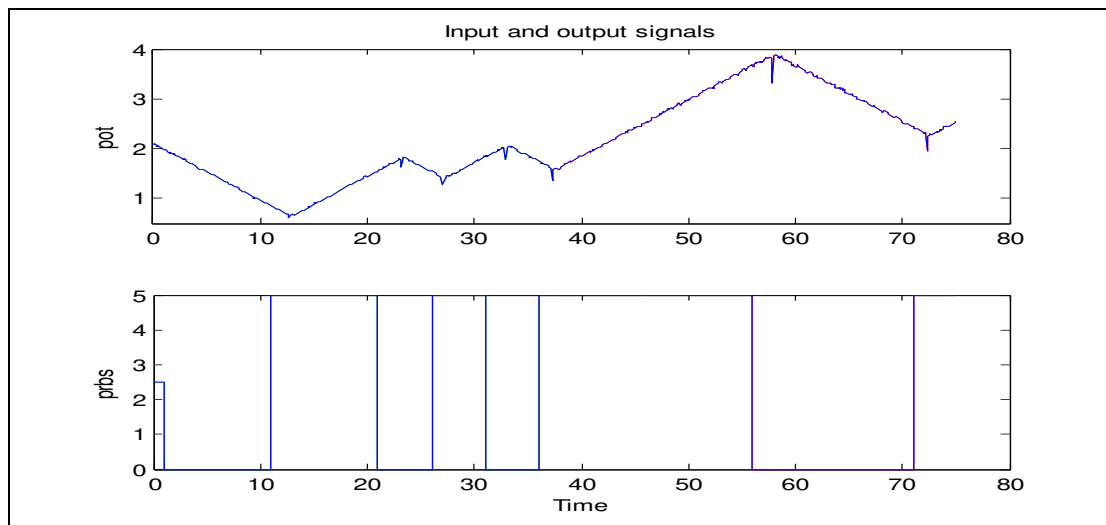


Figura 27 Gráfico de los datos de entrada y salida

Con los últimos datos vamos a validar

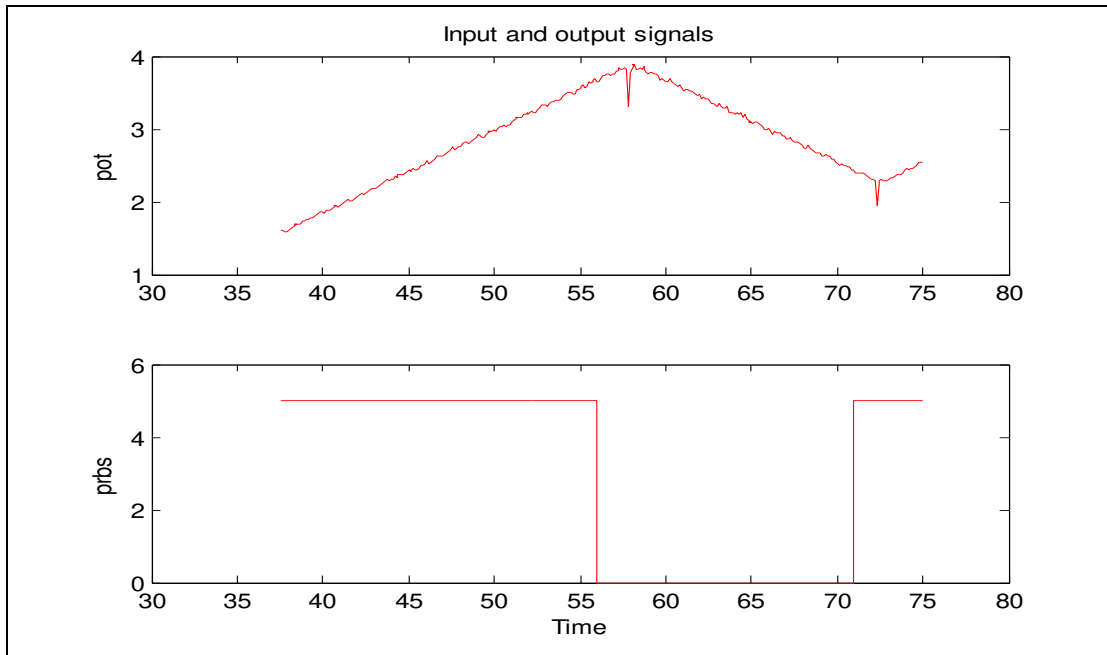


Figura 28 Validación de la señal

4.5 Análisis con diferentes modelos de identificación

Una vez que se tiene los datos ingresados, se procede a la identificación como tal, es decir analizar la salida obtenida mediante la aplicación de una señal de entrada.

Para una mejor apreciación de los diferentes modelos y aproximaciones de la identificación realizaremos una TABLA comparativa.

Nombre	Significado
na	Numero de Polos Comunes
nb	Numero de Zeros + 1
nc	Entrada de Ruido Zeros
nd	Entrada de Ruido Polo
nf	Numero de Polos
nk	Retardo

Tabla 4 Significado de variables – Identificación a la planta

4.6 Análisis Modelo ARX

A continuación se mostrara las diferentes respuestas de aproximación obtenidas con el modelo paramétrico ARX.

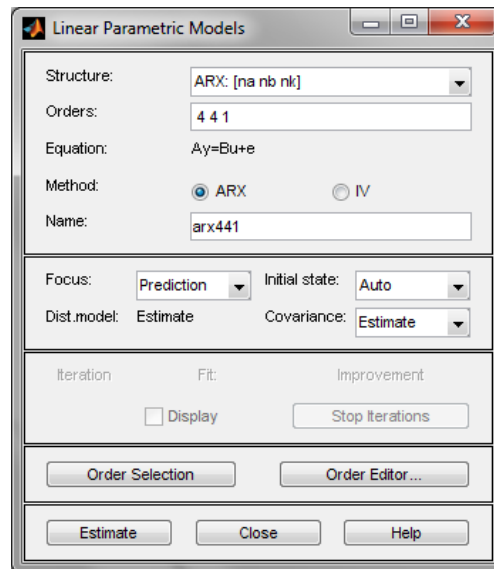


Figura 29 Interfaz de modelo ARX

ARX[na][nb][nk][N]	Aproximación
arx221N	37.76%
arx331N	40.07%
arx441N	42.04%
arx551N	44.23%
arx552N	45.77%

Tabla 5 Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos ARX

Modelo escogido para la identificación:

ARX[na][nb][nk][N]	Aproximación
Arx552N	45.77%

Tabla 6 Modelo ARX escogido

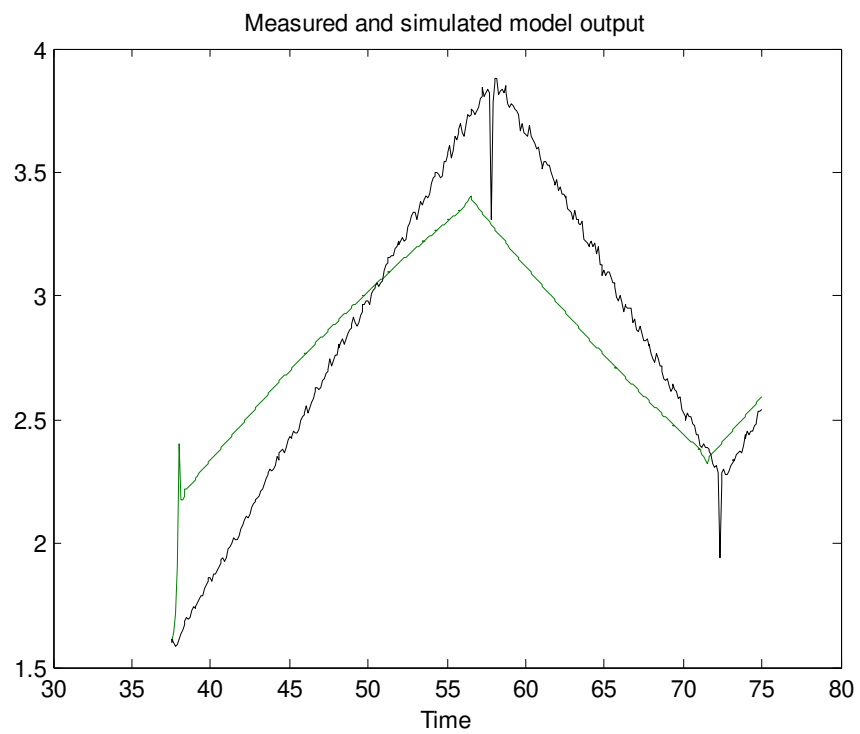


Figura 30 Comparación del modelo con la planta real

Características arx552N

Respuesta a entrada Paso

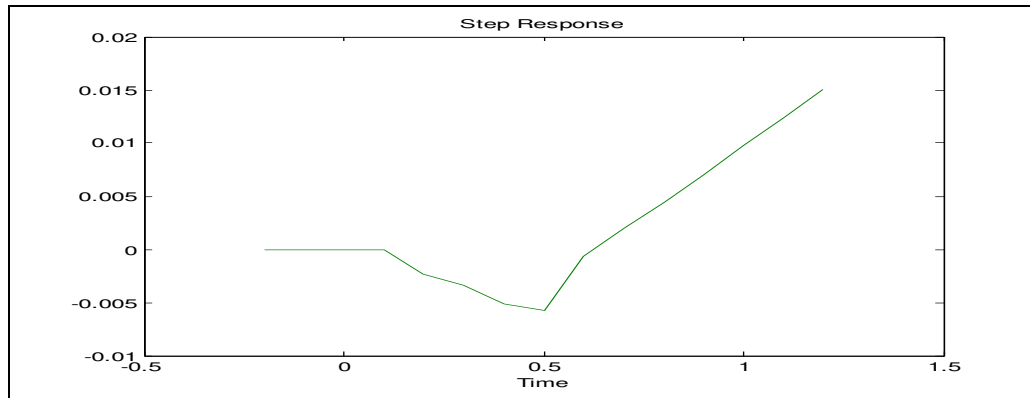


Figura 31 Respuesta a una entrada paso modelo arx552N

Respuesta de Frecuencia

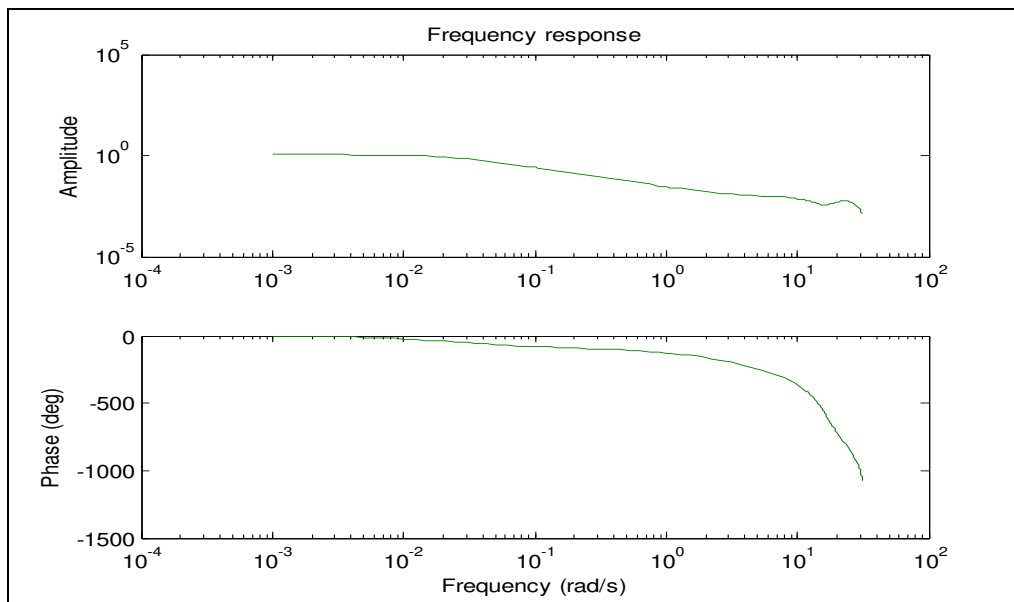


Figura 32 Respuesta de frecuencia modelo arx552N

Con este grafico podemos confirmar que nuestra entrada considera las frecuencias con las que trabaja nuestro proceso.

Análisis de Residuos

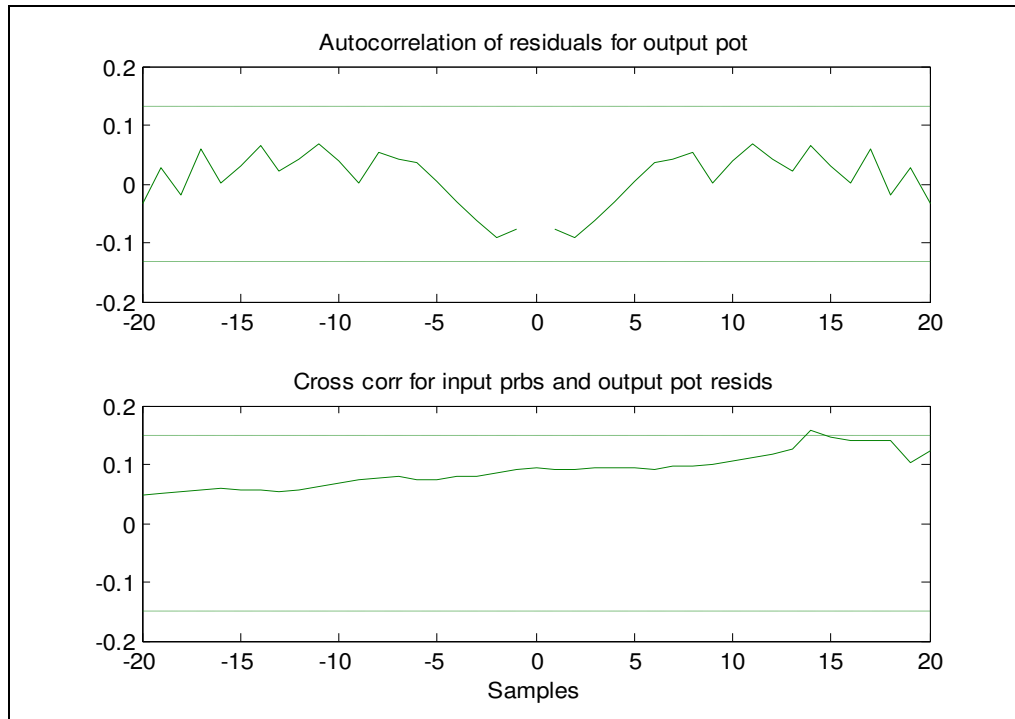


Figura 33 Análisis de residuos modelo arx552N

La figura nos indica que no existe auto correlación entre la entrada y la salida, puesto que no existen picos en los cuales se exceden los límites de confianza, es decir no depende de instantes pasados.

Simulación del modelo de prueba

Planta identificada en Simulink con el modelo escogido

Sin Controlador

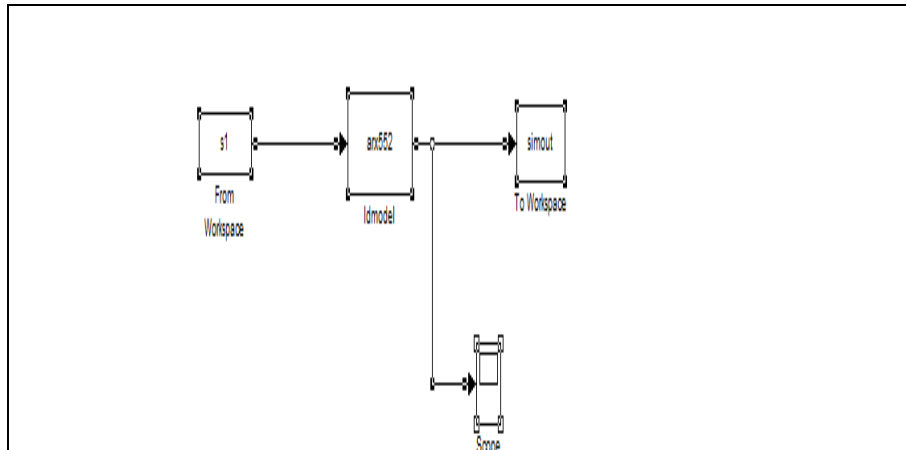


Figura 34 Diagrama de Simulink con el modelo arx552N sin controlador

Salida del Scope:

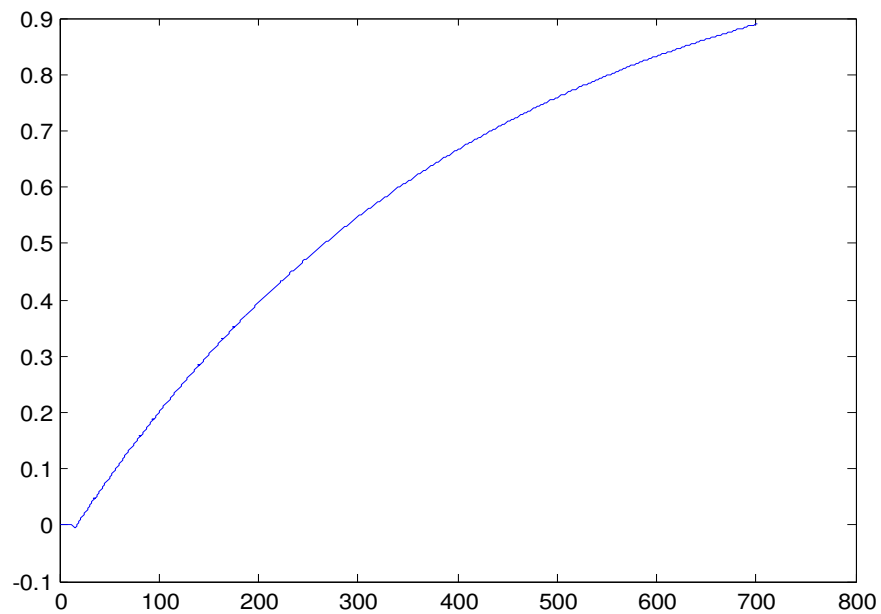


Figura 35 Gráfica de salida de la planta con el modelo arx552N

4.7 Análisis Modelo ARMAX

A continuación se mostrara las diferentes respuestas de aproximación obtenidas con el modelo paramétrico ARMAX.

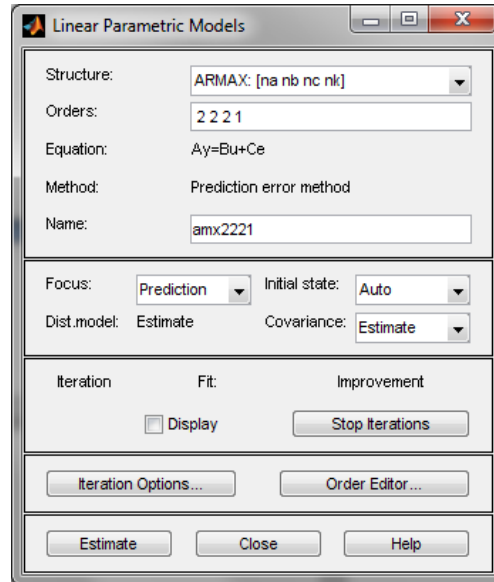


Figura 36 Interfaz de modelo ARMAX

ARMAX[na][nb][nk][N]	Aproximación
Amx2221N	70.52%
Amx3331N	66.62%
Amx4442N	67.81%
Amx5552N	67.78%

Tabla 7 Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos ARX

Modelo escogido para la identificación:

ARMAX[na][nb][nk][N]	Aproximación
Amx2221N	70.52%

Tabla 8 Modelo ARMAX escogido

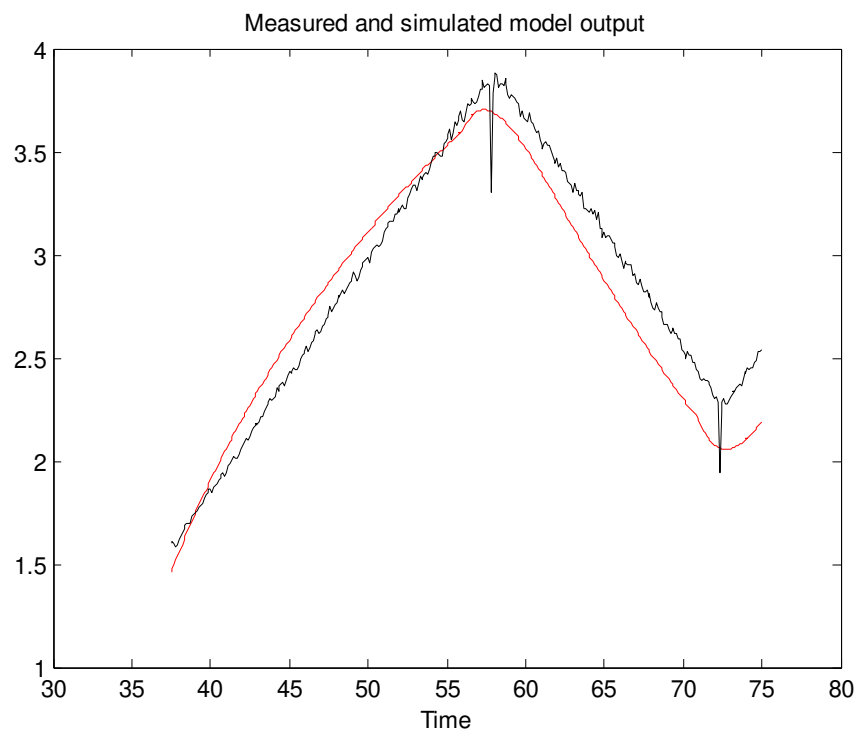


Figura 37 Comparación del modelo amx2221N con la planta real

Características armax2221N

Respuesta a entrada Paso

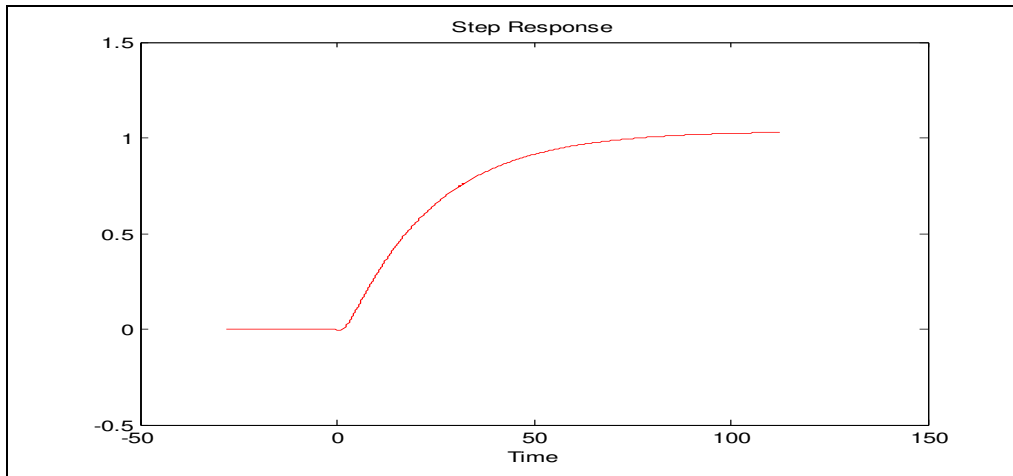


Figura 38 Respuesta a una entrada paso modelo armax2221N

Respuesta de Frecuencia

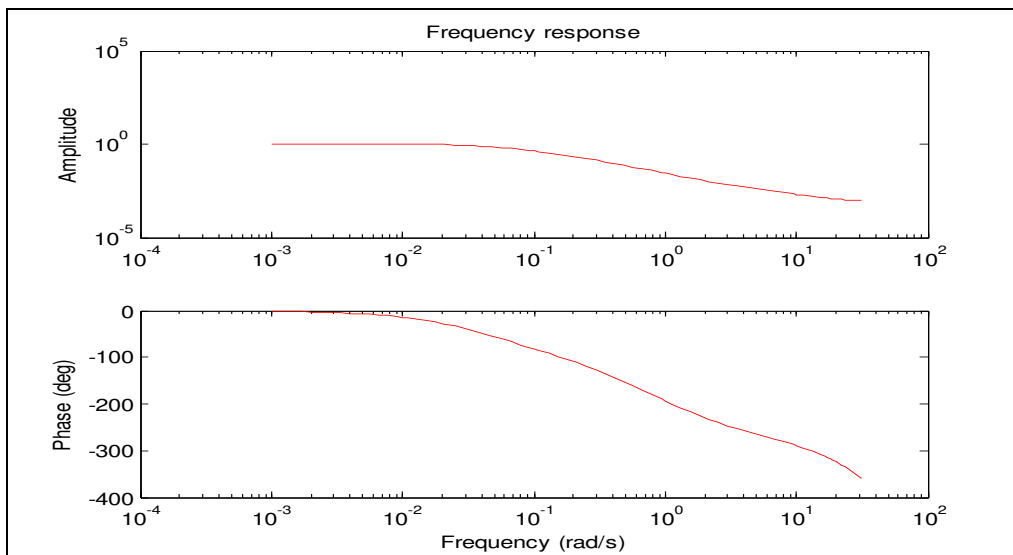


Figura 39 Respuesta de frecuencia modelo armax2221N

Con este grafico podemos confirmar que nuestra entrada considera las frecuencias con las que trabaja nuestro proceso.

Análisis de Residuos

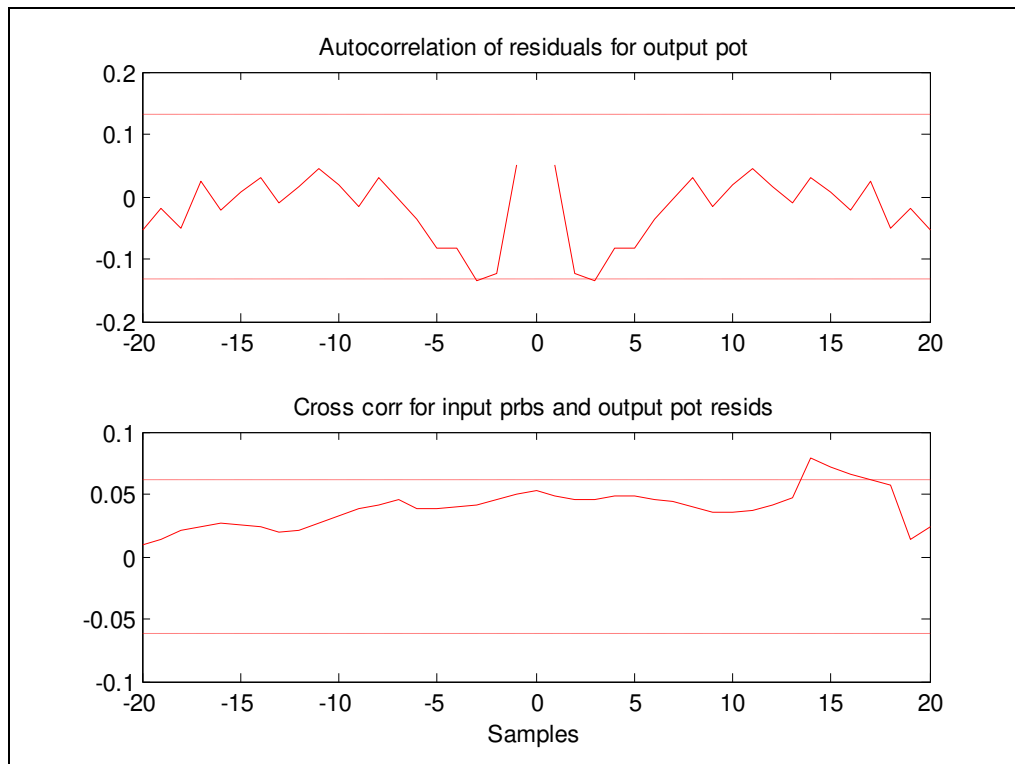


Figura 40 Análisis de residuos modelo armax2221N

La figura nos indica que no existe auto correlación entre la entrada y la salida, puesto que no existen picos en los cuales se exceden los límites de confianza, es decir no depende de instantes pasados.

En cuanto a la Cross-Correlation pasa un pico el intervalo de confianza, esto quiere decir que no es un buen modelo todavía para nuestra planta.

Simulación del modelo de prueba

Planta identificada en Simulink con el modelo escogido

Sin Controlador

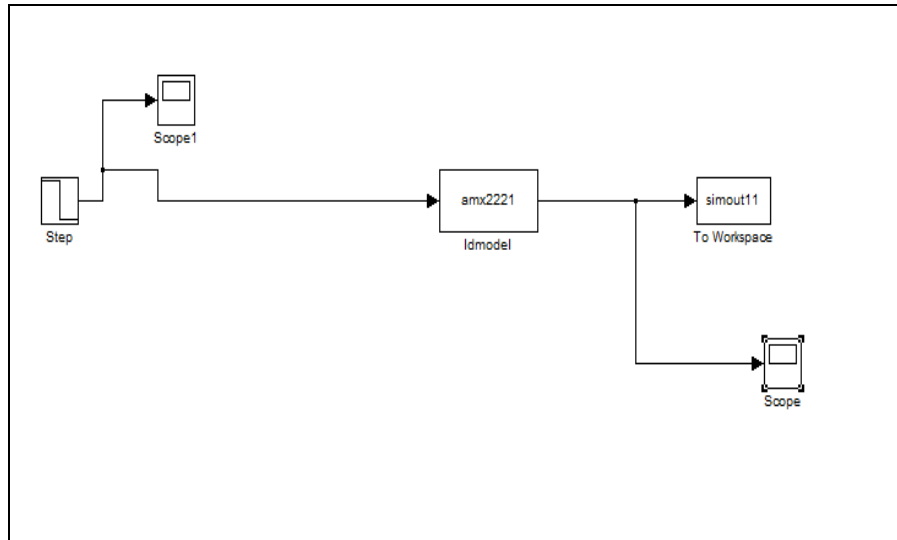


Figura 41 Diagrama de Simulink con el modelo amax2221N

Salida del Scope

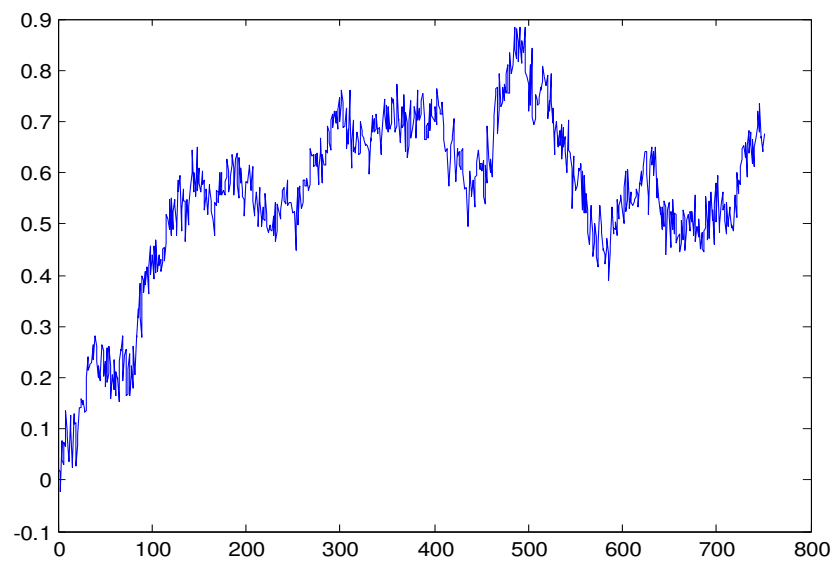


Figura 42 Salida de la planta con el modelo amax2221N

4.8 Análisis Modelo Output Error (OE)

A continuación se mostrara las diferentes respuestas de aproximación obtenidas con el modelo paramétrico Output Error.

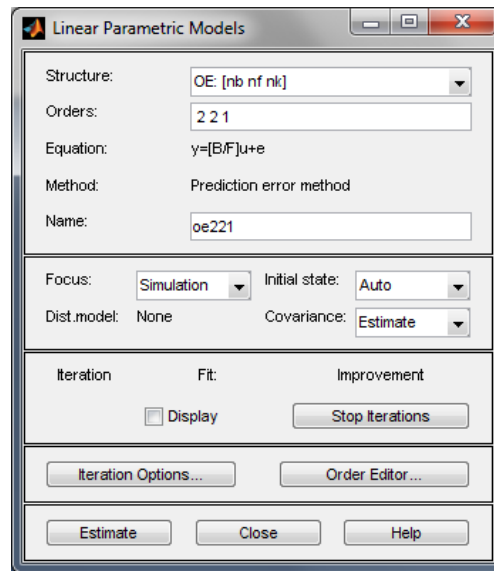


Figura 43 Interfaz de modelo Output Error

OE[na][nb][nk][N]	Aproximación
Oe111A	46.26%
Oe221A	85.07%
Oe331A	90.07%
Oe442A	92.98%

Tabla 9 Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos OE

Modelo escogido para la identificación:

OE[na][nb][nk][N]	Aproximación
Oe442A	92.98%

Tabla 10 Modelo Output Error (OE) escogido

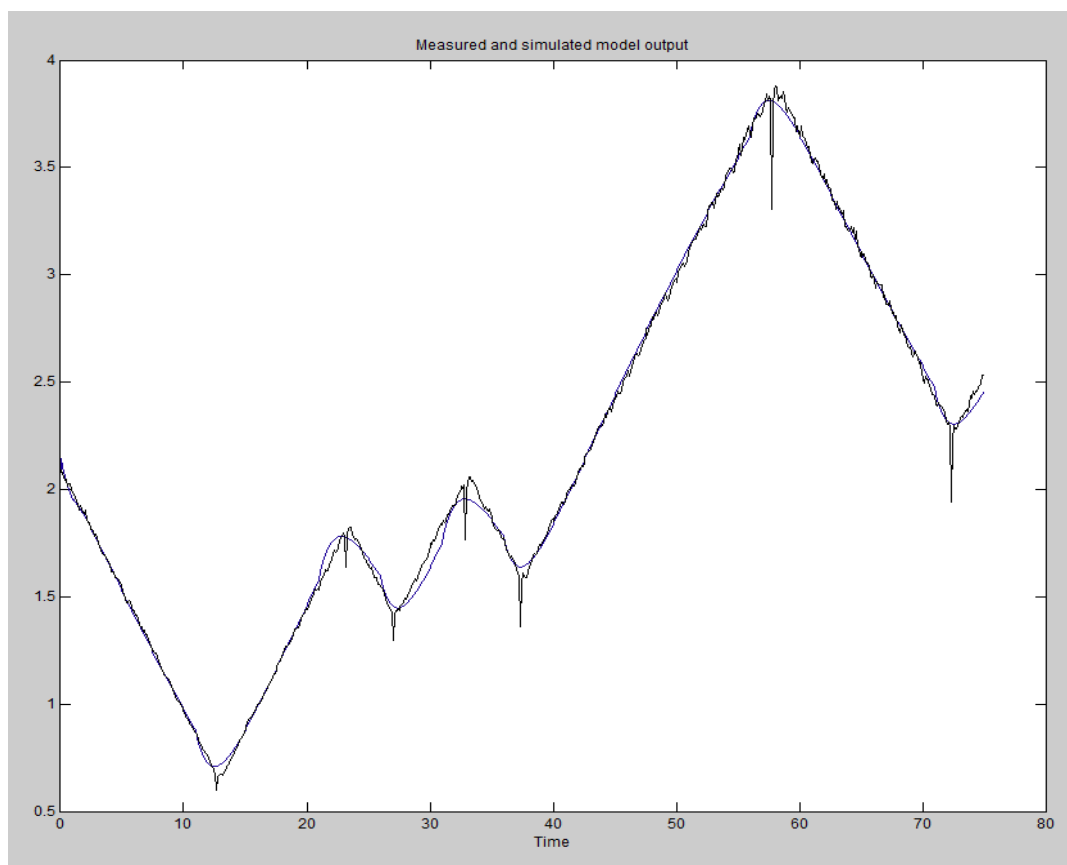


Figura 44 Comparación del modelo Oe442A con la planta real

Características Output Error 442A

Respuesta a entrada Paso

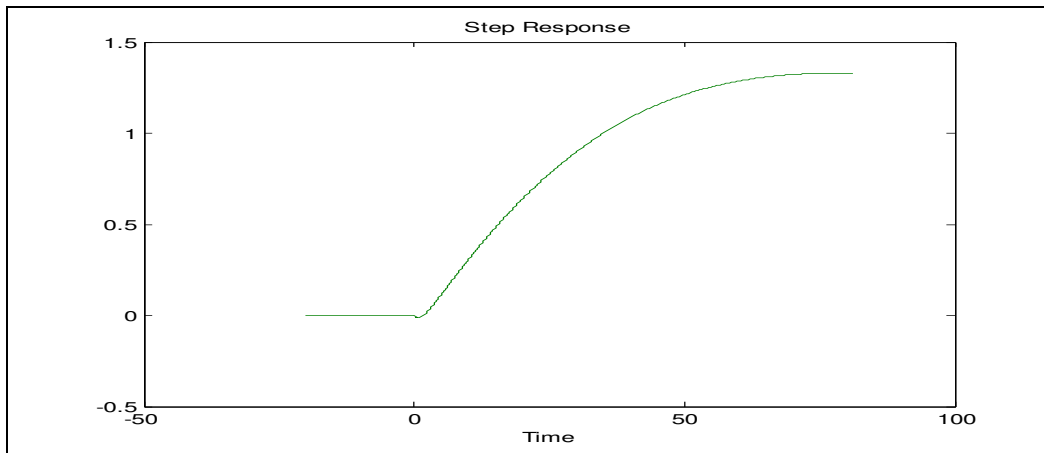


Figura 45 Respuesta a una entrada paso modelo OE442A

Respuesta de Frecuencia

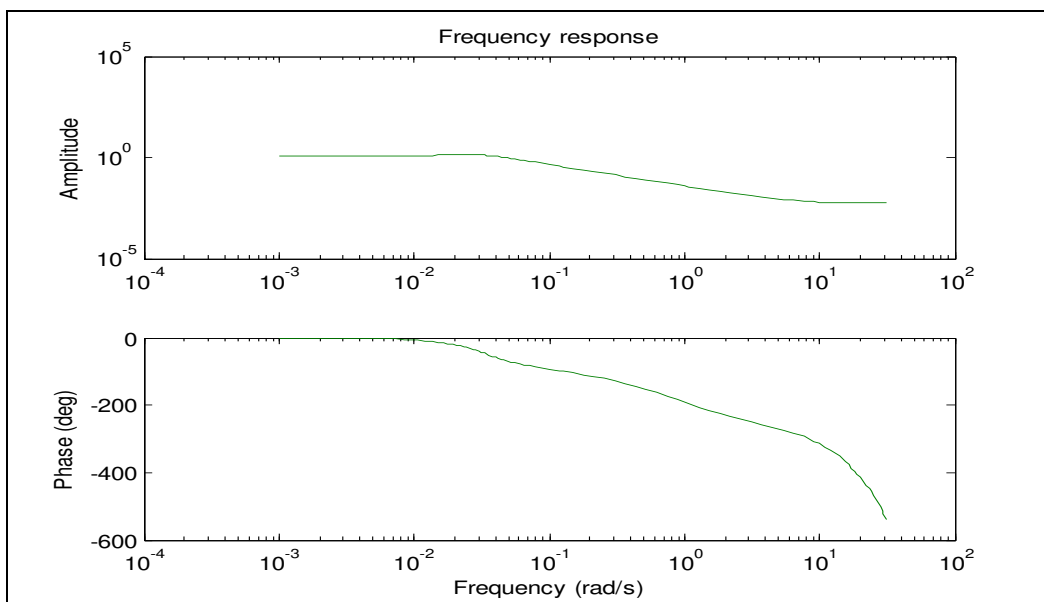


Figura 46 Respuesta de frecuencia modelo OE442A

Con este grafico podemos confirmar que nuestra entrada considera las frecuencias con las que trabaja nuestro proceso.

Análisis de Residuos

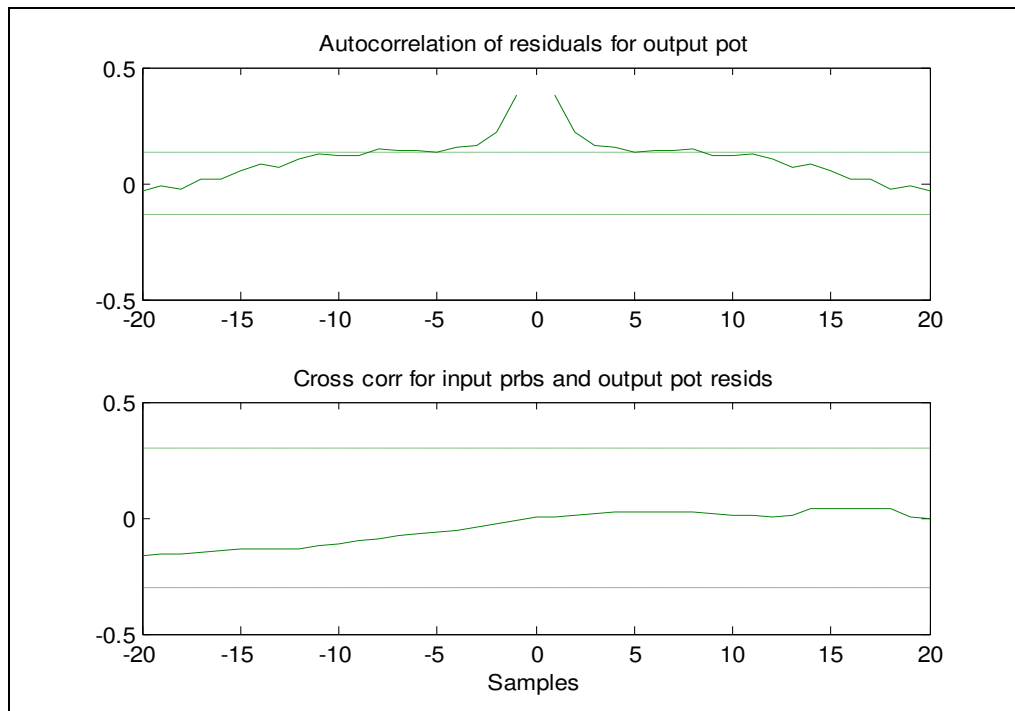


Figura 47 Análisis de residuos modelo OE442A

La figura nos indica que no existe auto correlación entre la entrada y la salida, puesto que no existen picos en los cuales se exceden los límites de confianza, es decir no depende de instantes pasados.

En cuanto a la Cross-Correlation no sobrepasa los límites del intervalo de confianza, esto quiere decir que SI es un buen modelo para nuestra planta.

Simulación del modelo de prueba

Planta identificada en Simulink con el modelo escogido

Sin Controlador

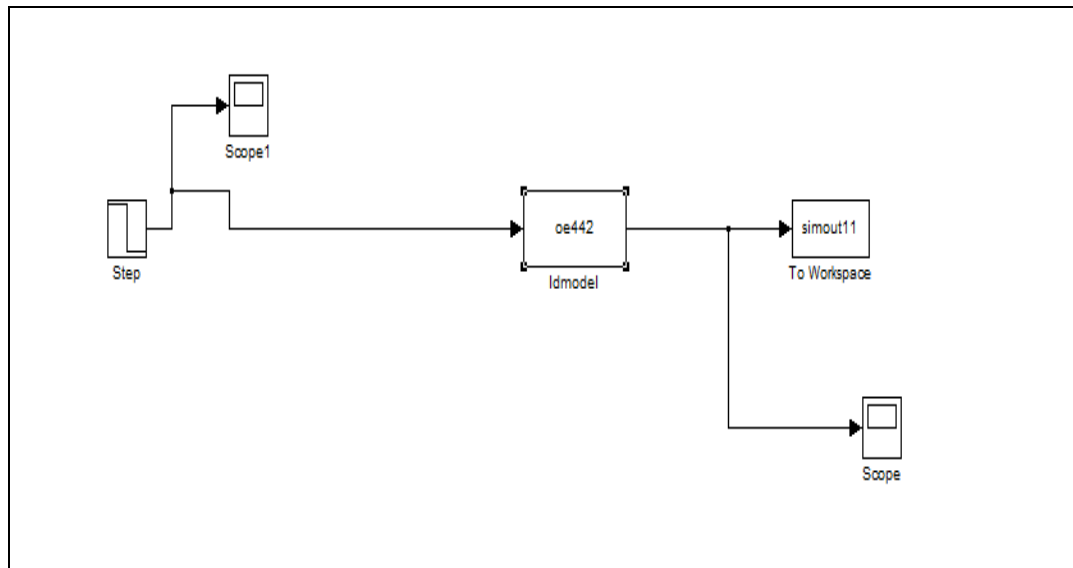


Figura 48 Diagrama de Simulink del modelo OE442A

Salida del Scope

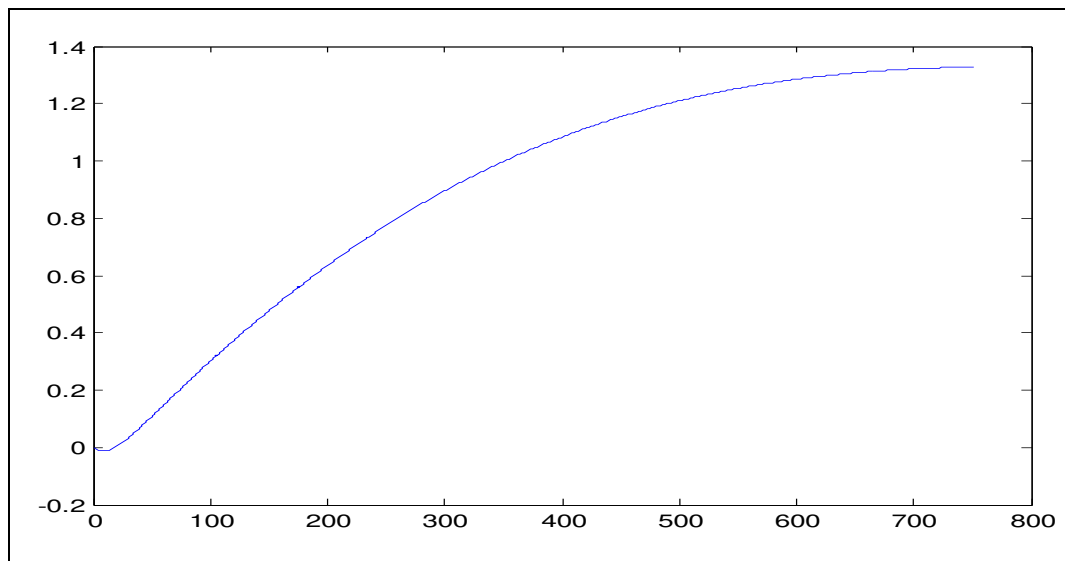


Figura 49 Salida de la planta con el modelo OE442A

4.9 Análisis Modelo BOX-JENKINS

A continuación se mostrara las diferentes respuestas de aproximación obtenidas con el modelo paramétrico Box-Jenkins

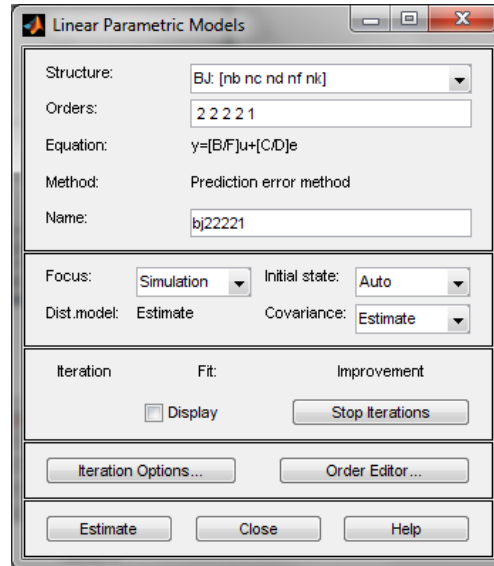


Figura 50 Interfaz de modelo Box-Jenkins

BJ[nb][nc][nd][nf][nk]N	Aproximación
Bj11111A	55.02%
Bj22221A	34.54%
Bj22222A	30.99%
Bj44441A	23.45%

Tabla 11 Aproximaciones de respuestas obtenidas con modelos Box-Jenkins

Modelo escogido para la identificación:

BJ[nb][nc][nd][nf][nk]N	Aproximación
Bj11111A	55.02%

Tabla 12 Modelo escogido Box-Jenkins

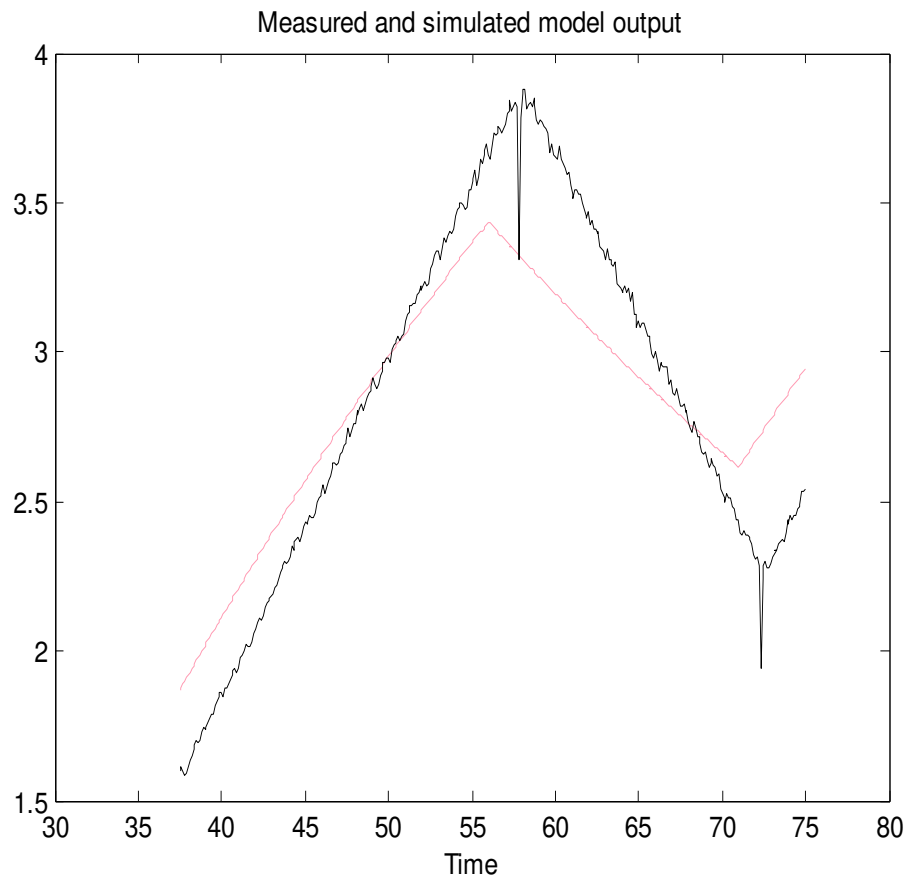


Figura 51 Comparación del modelo Bj11111A con la planta real

Características Box-Jenkins 11111

Respuesta a entrada Paso

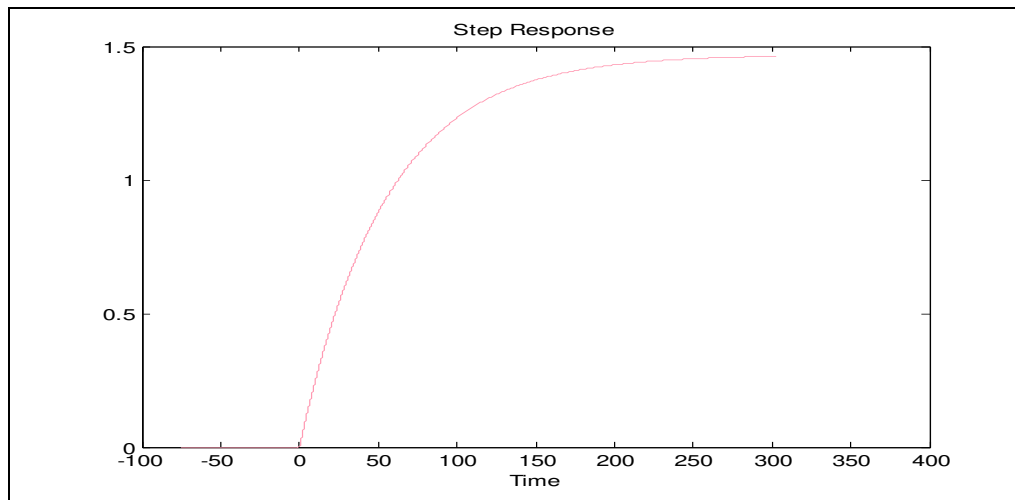


Figura 52 Respuesta a una entrada paso modelo Bj11111A

Respuesta de Frecuencia

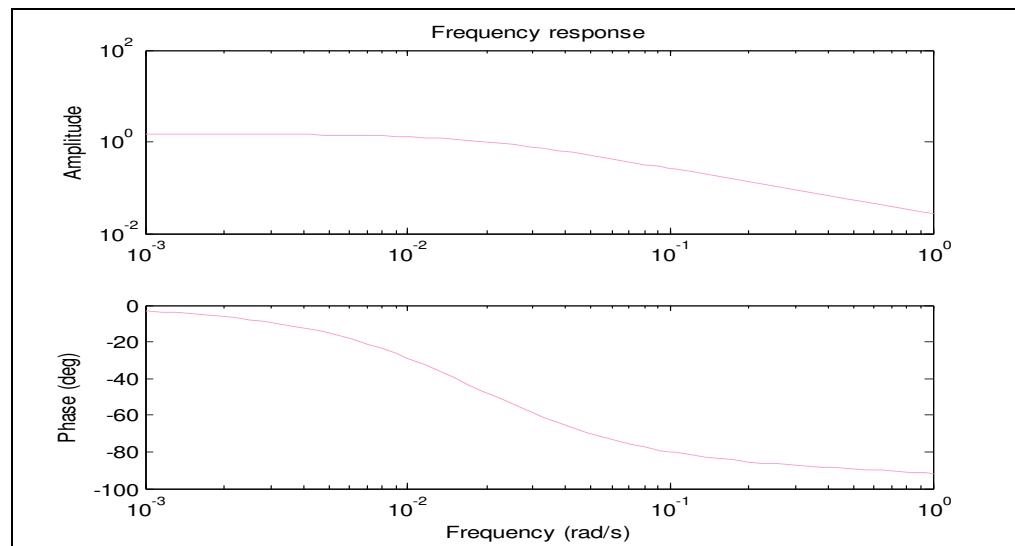


Figura 53 Respuesta de frecuencia modelo Bj11111A

Con este grafico podemos confirmar que nuestra entrada considera las frecuencias con las que trabaja nuestro proceso.

Análisis de Residuos

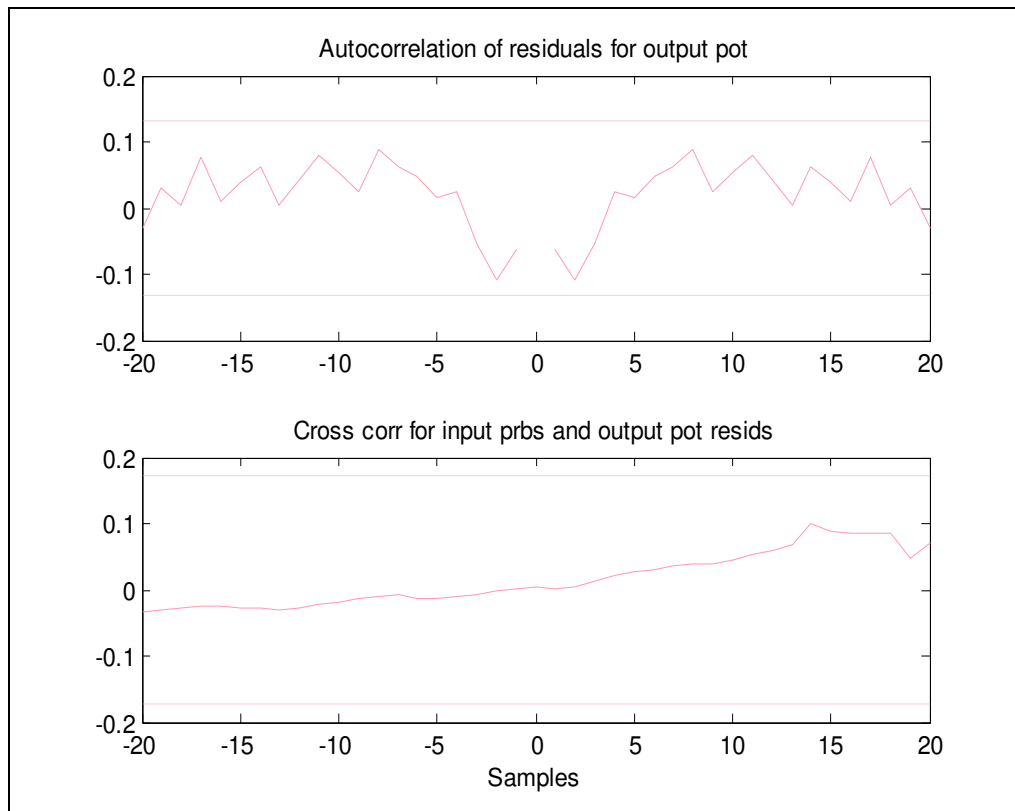


Figura 54 Análisis de residuos modelo Bj11111A

La figura nos indica que no existe auto correlación entre la entrada y la salida, puesto que no existen picos en los cuales se exceden los límites de confianza, es decir no depende de instantes pasados.

En cuanto a la Cross-Correlation no sobrepasa los límites del intervalo de confianza, esto quiere decir que posiblemente sea un buen modelo para nuestra planta.

Simulación del modelo de prueba

Planta identificada en Simulink con el modelo escogido

Sin Controlador

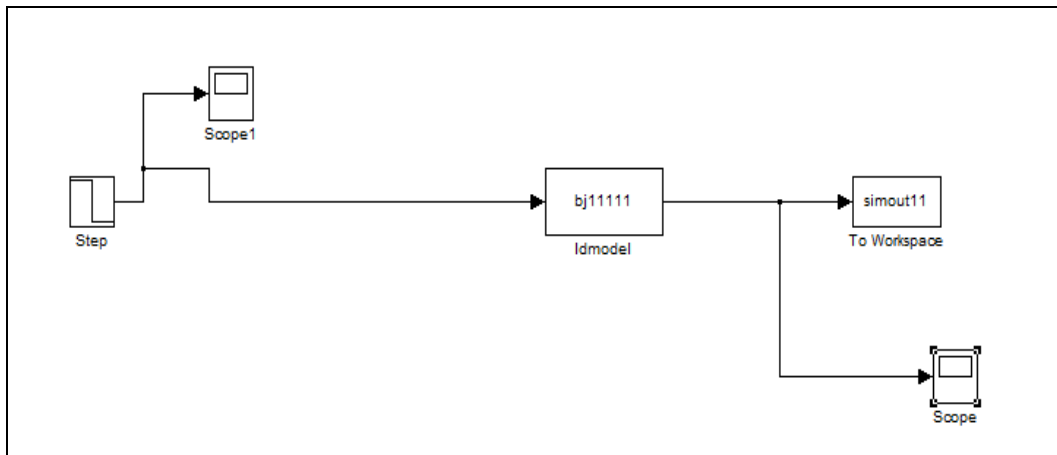


Figura 55 Diagrama de Simulink del modelo Bj1111A

Salida del Scope

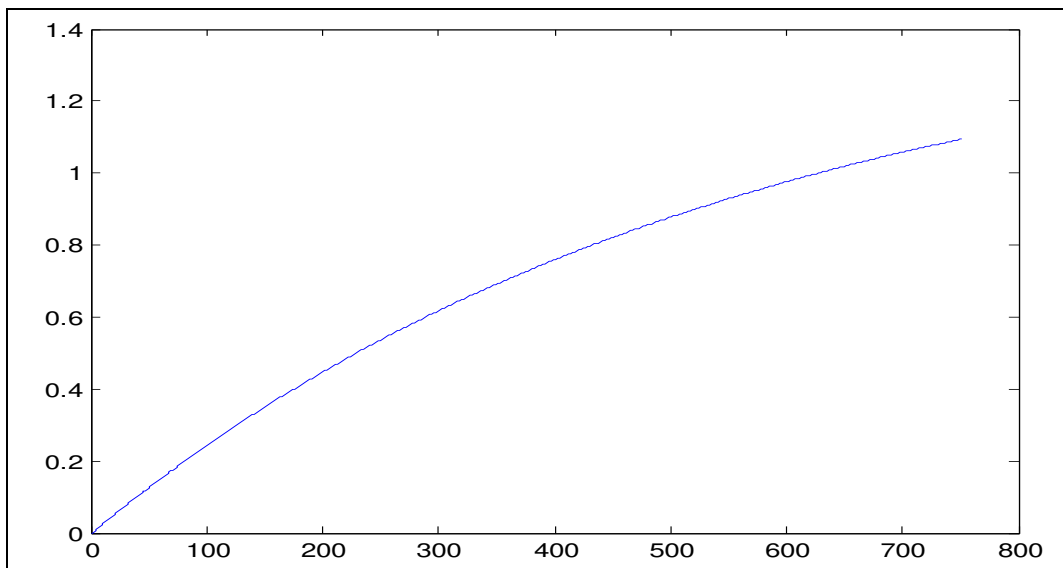


Figura 56 Salida del modelo Bj1111A

4.10 Análisis de Resultados

Modelos escogidos

A continuación mostraremos las características de los modelos escogidos.

ARX[na][nb][nk][N]	Aproximación
Arx552N	45.77%

ARMAX[na][nb][nc][nk]N	Aproximación
amx2221N	70.52%

OE[nb][nf][nk]N	Aproximación
Oe442A	92.98%

BJ[nb][nc][nd][nf][nk]N	Aproximación
Bj11111A	55.02%

Tabla 13 Modelos escogidos para la identificación

De todos los modelos analizados, podemos concluir que el mejor modelo de identificación para nuestro planta de estudio es el modelo paramétrico Output Error, el cual tiene una aproximación muy alta, casi parecida a la Real.

4.11 Listado de Materiales

- ✓ 3 resistencias de 2.2k
- ✓ 3 transistores 2N3904
- ✓ 3 diodos 1N4007
- ✓ 3 Reles
- ✓ 1 PIC 16F870
- ✓ 1 Servomotor
- ✓ 1 Potenciómetro 10K
- ✓ 1 Potenciómetro Multivoltas 100K

CAPITULO 5

DISEÑO DEL CONTROLADOR

5.1 Proceso de Diseño

En este capítulo haremos la implementación de un controlador, con el objetivo de mejorar el Sistema de Control de nuestra planta.

El controlador necesario para nuestro proyecto es un Control P (Proporcional) puesto que como hemos observado en el capítulo anterior la respuesta de salida de la planta de estudio.

La herramienta necesaria para la elaboración de nuestro controlador es SISOTOOL de Matlab.

Esta herramienta es muy útil para nuestro propósito, ya que nos muestra las trayectoria de las raíces, así como los graficas necesarias que nos muestra el Sobrenivel Porcentual, Tiempo de estabilización, Porcentaje de Error del sistema, etc.

5.2 Herramienta SISOTOOL para diseño de controlador

Como ya analizamos previamente, el modelo adecuado para nuestro estudio es el OE442A que nos da una excelente aproximación

Corremos el siguiente comando en Matlab:

```
>>tf(oe442)
```

```
>>SISOTOOL
```

Se abrirá la siguiente ventana

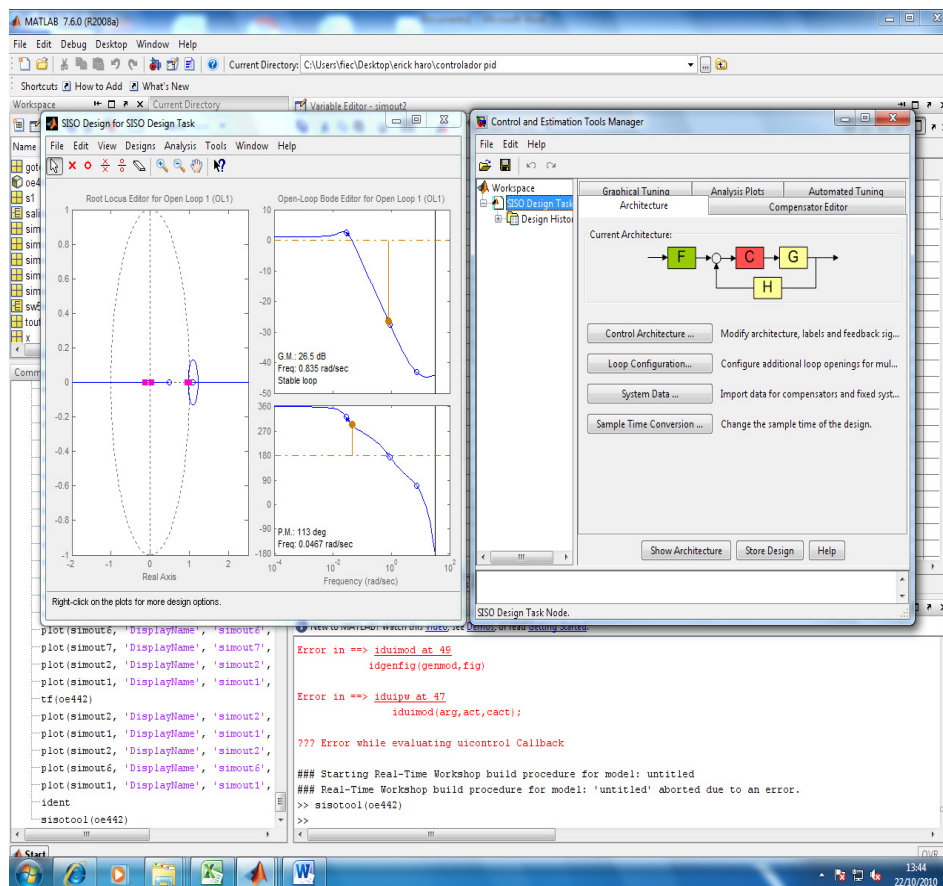


Figura 57 Presentación de ventana de Sisotool

La pantalla que se no presenta nos muestra las trayectorias de las raíces, así como también el esquema del diagrama de bloques que se debe diseñar en lazo cerrado.

Esta interfaz es muy amigable con el usuario, debido a que es un entorno gráfico y podemos diseñar a prueba y error; ya sea modificando la trayectoria agregando polos o ceros al controlador o cambiando su ganancia moviendo las raíces sobre la trayectoria.

En condiciones normales el coeficiente del bloque H (Ganancia o función de transferencia del sensor), F (el Prefiltro) y C (Controlador) es igual a 1.

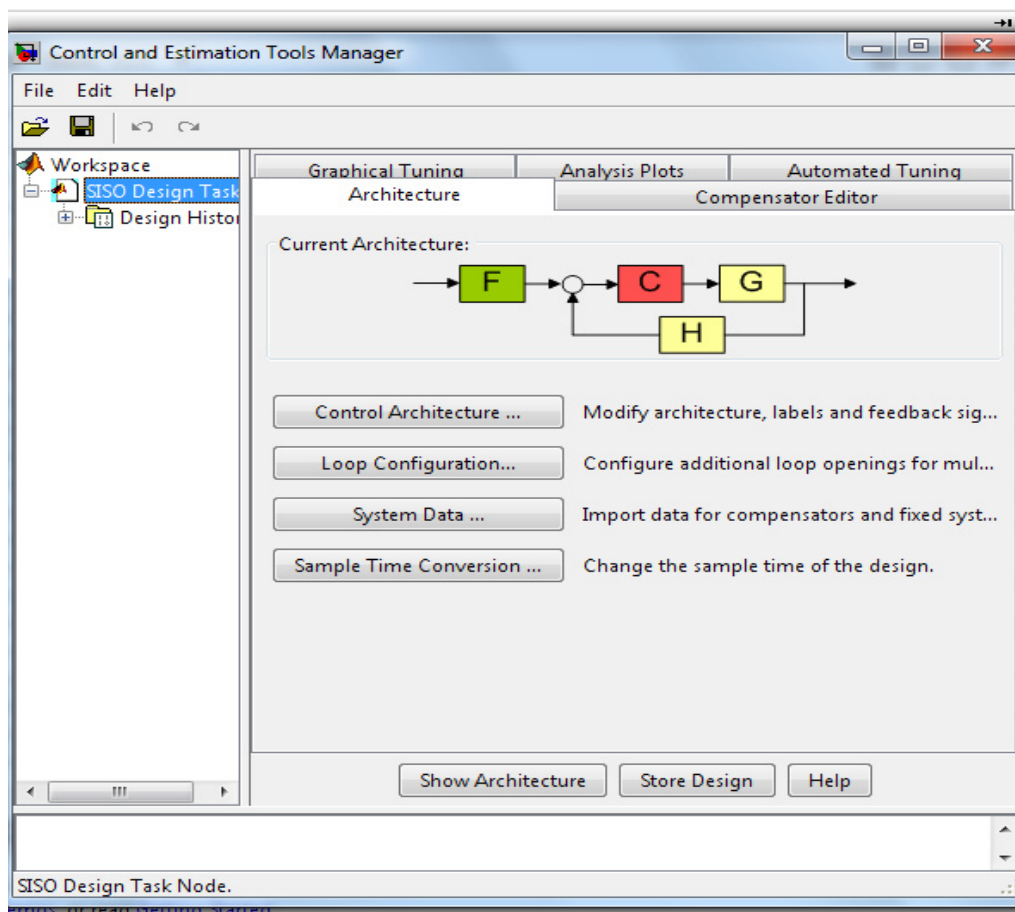


Figura 58 Ventana de control y estimación del Sisotool

5.3 Diseño de controlador P para el modelo elegido

Datos iniciales de nuestra planta sin controlador

En condiciones normales tenemos lo siguiente:

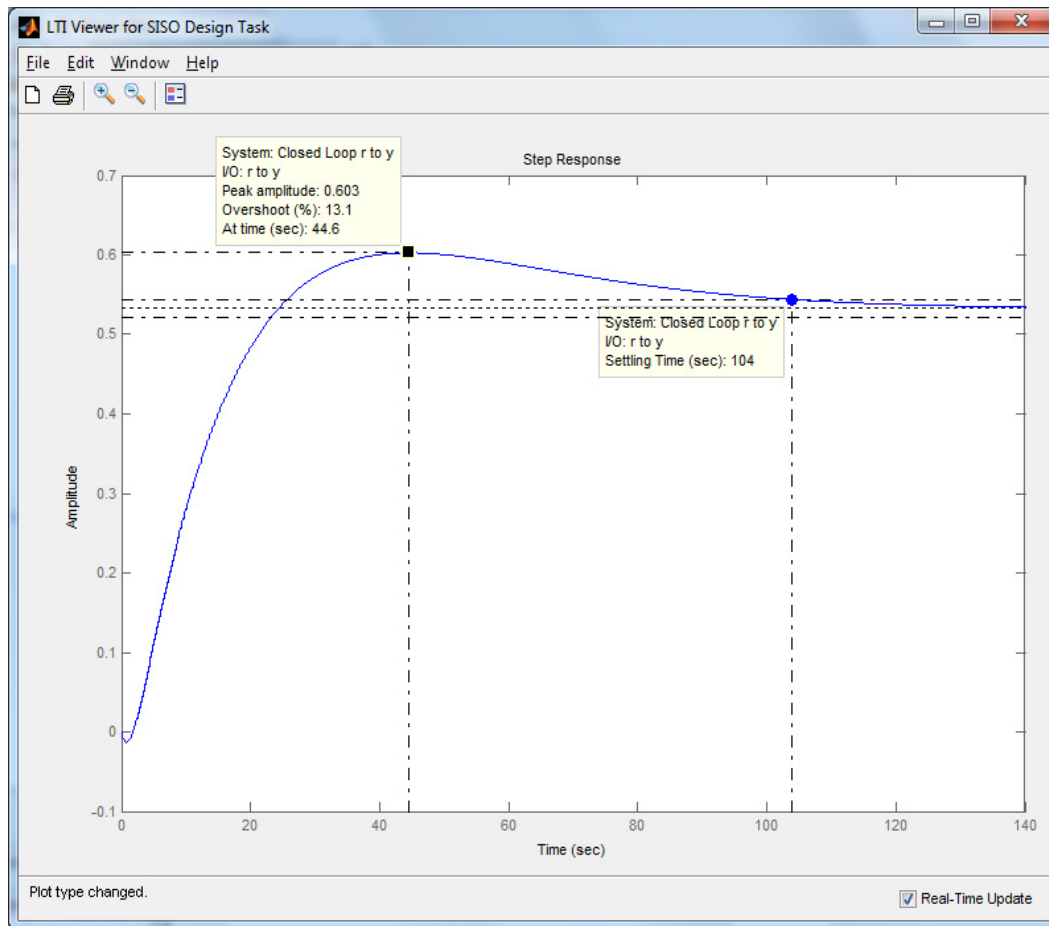


Figura 59 Respuesta del modelo

- ✓ Overshoot (%): 13.1
- ✓ Tiempo de Estabilización: 10,4 seg.

Estos valores deben ser mejorados con el diseño de un controlador.

5.4 Desplazamiento de trayectorias de las raíces

Como ya conocemos los valores que debemos mejorar, tenemos un objetivo claro al que debemos llegar, el cual consiste en mejorar dichos valores para obtener un diseño de control eficiente para nuestra planta.

Procedemos a manipular las trayectorias de las raíces hasta obtener la respuesta deseada.

Obtuvimos lo siguiente:

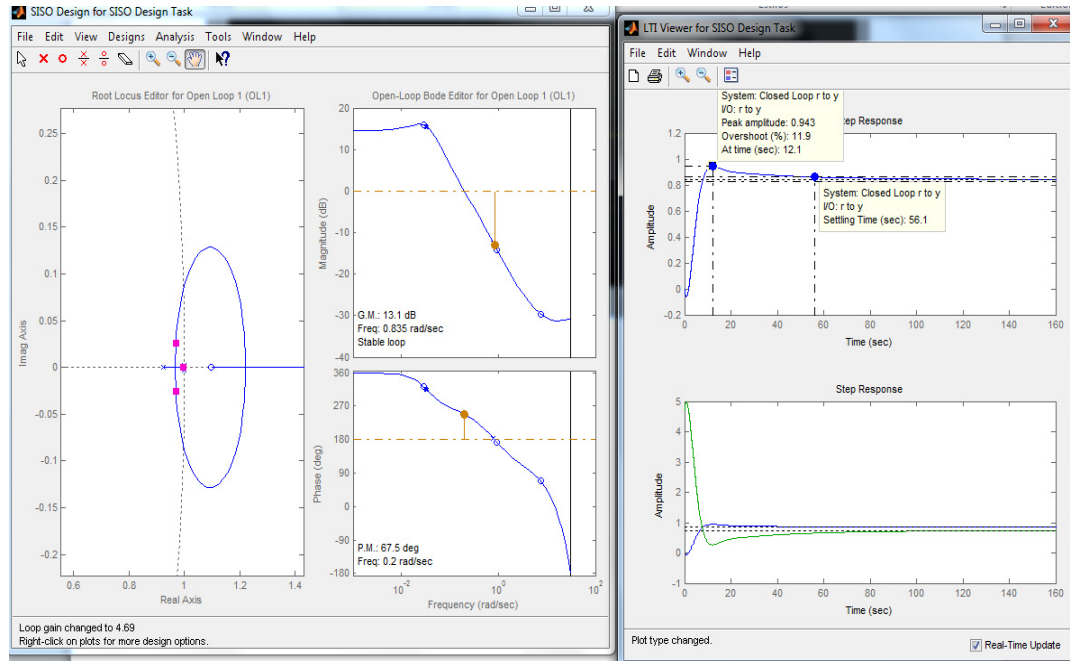


Figura 60 Ventana de la trayectoria de las raíces del Sisotool

- ✓ Overshoot (%): 11.9
- ✓ Tiempo de Estabilización: 56.1 seg.

De acuerdo a este controlador obtuvimos un tiempo de estabilización más rápido, el cual es muy indispensable en el control de posicionamiento de una antena, es decir hemos mejorado el control de nuestro sistema

5.5 Parámetros del CONTROLADOR P

Planta identificada en Simulink

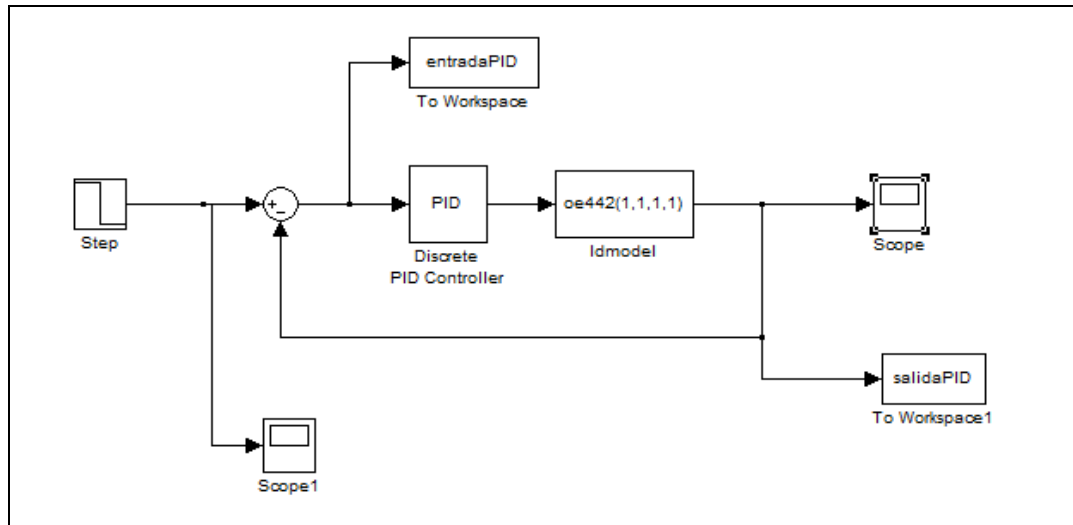


Figura 61 Diagrama de bloques de Simulink

Debemos ingresar los parámetros adecuados para el adecuado diseño de nuestro controlador.

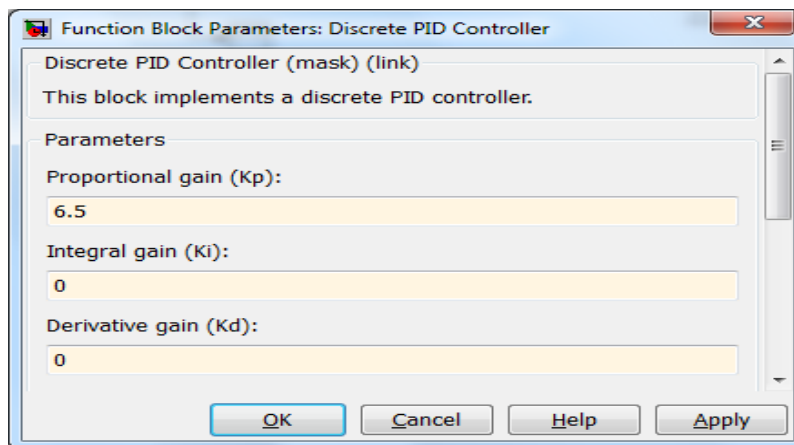


Figura 62 Diagrama de Parámetros PID

- ✓ $K_p = 6.5$
- ✓ $K_i = 0$
- ✓ $K_d = 0$

5.6 Resultados del Controlador

OE 442A → 92.98%

Señal de entrada

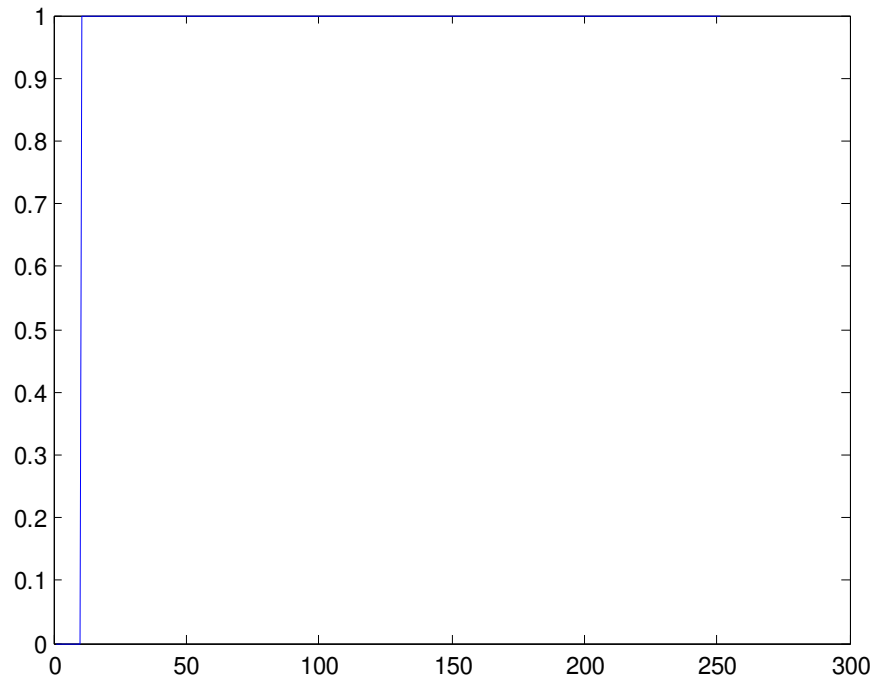


Figura 63 Señal de entrada de la planta real

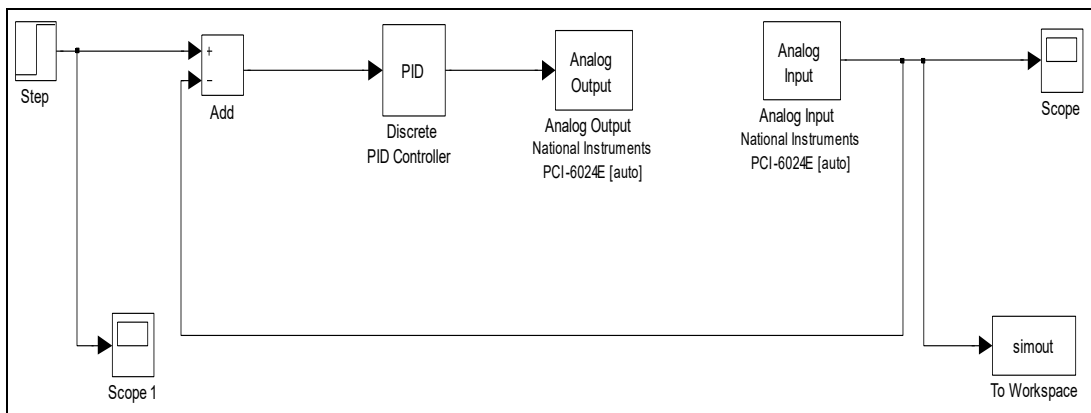


Figura 64 Diagrama de bloque de Simulink con el controlador planta real

Salida del Scope:

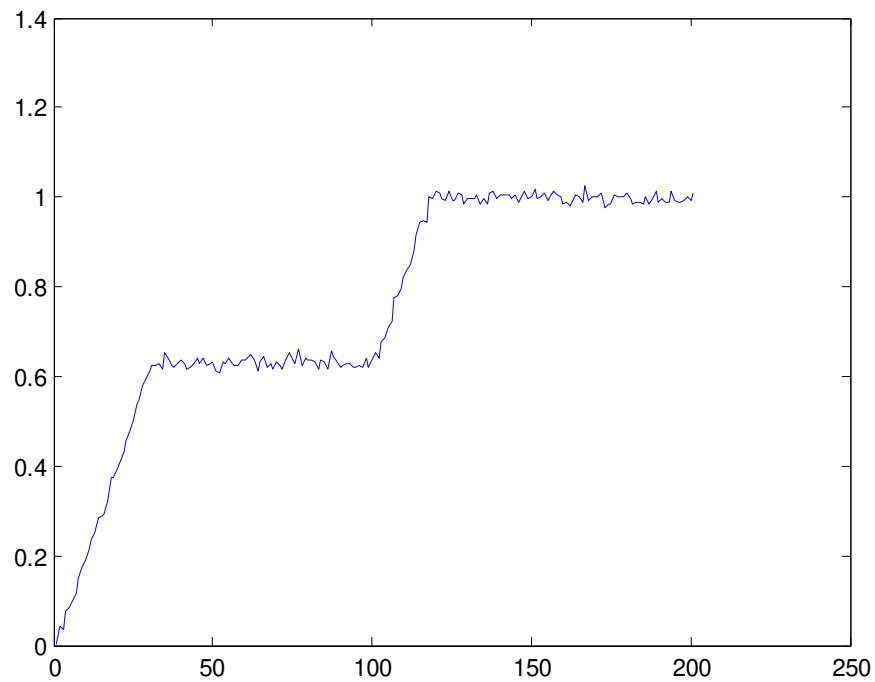


Figura 65 Salida de la planta real luego de la perturbación

En esta gráfica de salida de nuestra planta podemos notar claramente que el tiempo de estabilización de nuestra planta es mucho más rápido, y no tiene un valor pico alto sino que se ve casi suavizada la grafica, esto se debe al compensador y a los correctos parámetros estimados.

Conclusiones

- La utilización del proceso de identificación de sistemas, permite identificar modelos sencillos cuya implementación matemática es factible, permitiendo la simulación de los sistemas analizados, así como el trabajo en tiempo real.
- Al tener que construir proyectos de este tipo hay que conocer que variables hay que medir y controlar, que equipos de instrumentación se van a utilizar al igual que los actuadores para ayudar a controlar el proceso en base al controlador, ya que si no se tiene presente esto no se podrá hacer una correcta identificación del sistema
- Luego de varias pruebas con varios modelos en las simulaciones realizadas se comprobó que el modelo que más se ajusta a la dinámica del sistema real fue el OE (Output-Error)
- Queda demostrado, además que los modelos encontrados por este método constituyen una buena aproximación de los sistemas reales y pueden ser utilizados en el diseño de controladores automáticos.
- Para el diseño de nuestra planta de estudio, fue necesario conseguir un Servomotor de bajas revoluciones, para un control óptimo de posicionamiento de antena, para que tenga un giro prácticamente de paso y obtenga una línea de vista punto a punto con el satélite y de este modo tener la recepción adecuada.

- Por medio de las pruebas realizadas, podemos concluir que el controlador tipo P (Proporcional) debido a que este ofrece un control suave al sistema cuando este recibe alguna perturbación y logra la estabilización en el menor tiempo posible.
- La adquisición de datos a través de tarjetas DAQ con Matlab, permite conectarnos en tiempo real con procesos analógico, digital en forma simple. Sólo se requiere que la DAQ sea reconocida por Matlab. Matlab reconoce los sistemas de adquisición de datos de la mayoría de fabricantes conocidos.
- Se debe tener cuidado en realizar la secuencia de configuración mostrada en los anexos de esta tesina, esto asegura no tener ningún inconveniente en la captura y salida de datos Analógicos, digitales. Es conveniente activar los elementos Scope, luego de la orden de conexión con la DAQ y antes de ejecutar un modelo que contiene bloques de lectura y/o salida Analógico o digital.
- En cuanto al prototipo de nuestra planta esta implementado de tal manera que pueda resistir a cualquier perturbación existente en el medio, a través del controlador P diseñado la estabilización es rápida y no produce ninguna complicación al proceso.

Recomendaciones

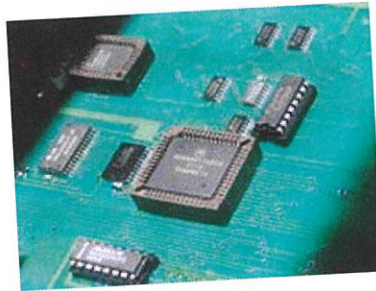
- Previo a la Identificación de Sistemas, es fundamental tener nociones de control automático, y las diferentes tipos de modelación que existen como son las paramétricas y no paramétricas y el alcance de las mismas.
- Es necesario que al momento de la identificación, tener una inducción del uso de la tarjeta de adquisición de datos, debido a que el ingreso de voltajes no tolerables para la misma puede afectarla e inclusive dañarla.
- También presentaría un gran interés la extensión del trabajo hacia procesos estocásticos, permitiendo y estudiando la incorporación de ruido en el esquema de identificación. Los análisis y desarrollos teóricos de un método de adaptación de parámetros podrían seguir técnicas de filtrado óptimo y concretamente expandir este estudio.
- Antes del manejo de la tarjeta de Adquisición de datos es importante tener el Data-Sheet de esta para poder realizar el interfaz adecuado con la planta real, y los puertos asignados para cada uno de los canales configurados previamente en Matlab.
- Para una correcta estimación del modelo real del proyecto, se requiere realizar varias validaciones de los distintos modelos (ARX, ARMAX, OE, BJ), modificando así sus parámetros y de esta forma llegar a la mejor.

BIBLIOGRAFIA

- R.G. Hakvoort,, “System Identification for Robust Process Control”,Prentice Hall, 1991
- L. Ljung, “Matlab User´s Guide: System Identification Toolbox”. Prentice Hall,1988
- L. Ljung y T. Glad, “Modeling of dynamic Systems”. Prentice Hall, 1994
- R. C. Dorf, “Modern Control Systems”. 8va. Edicion, Ed. Adisson-Weley 1988
- B. Shahian, M. Hassul, “Control System design Using Matlab”. Ed. Prentice-Hall, 1993.

ANEXOS

Microcontrolador



Microcontrolador Motorola 68HC11 y chips de soporte

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.

Características

Son diseñados para disminuir el coste económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la CPU, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora, utilizará un procesador muy pequeño (4 u 8 bit) por que sustituirá a un autómata finito. En cambio un reproductor de música y/o vídeo digital (mp3 o mp4) requerirá de un procesador de 32 bit o de 64 bit y de uno o más Códec de señal digital (audio y/o vídeo). El control de un sistema de frenos ABS (AntilockBrakeSystem) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bit, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.

Esquema de un microcontrolador

Los microcontroladores representan la inmensa mayoría de los chips de computadoras vendidos, sobre un 50% son controladores "simples" y el restante corresponde a DSPs más especializados. Mientras se pueden tener uno o dos microprocesadores de propósito general en casa (Ud. está usando uno para esto), usted tiene distribuidos seguramente entre los electrodomésticos de su hogar una o dos docenas de microcontroladores. Pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo. Un microprocesador tradicional no le permitirá hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips. Hay que agregarle los módulos de entrada/salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.

Los microcontroladores negocian la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso. Debido a que se utiliza bastante sitio en el chip para incluir funcionalidad, como los dispositivos de entrada/salida o la memoria que incluye el microcontrolador, se ha de prescindir de cualquier otra circuitería.

PROGRAMACION DEL PIC DEL PROYECTO

Programación del pic

; programa antena ESPOL

;definición de puertos

trisb = %00000000

trisc = %00000000

; configuración de puerto análogo

defineadc_bit 8

defineadc_clock 3

defineadc_sampleus 50

trisa = %1

adcon1 = %00001111

; declaración de variables

datovar byte

valorvar byte

decimalvar byte

zona0var byte

fmanvar word

xvar word

high portc.7

;encero

dato = 0

valor = 0



decimal = 0

fman = 0

x = 0

inicio:

; en esta parte sensa el valor del potenciómetro

; lo divide para dos para mejorar

;la resolución de la lectura

sensar:

ADCIN 0, DATO

VALOR = ((dato) /2)

DECIMAL = (((dato)//2)*100)/2

;en esta parte compara el valor sensado

; con valores fijos para los cambios de

; de velocidad y cambios de giro

comparaciones:

if valor > 10 and valor < 69 then

high portc.1 : low portc.3

endif

if valor < 42 then vrap

if valor > 43 and valor < 52 then vmed

if valor > 53 and valor < 69 then vbaj

if valor > 68 and valor < 76 then

low portc.1 : low portc.3

endif

if valor > 68 and valor < 76 then para

if valor > 77 and valor < 111 then

low portc.1 : high portc.3

endif

if valor > 77 and valor < 92 then vbaj

if valor > 93 and valor < 110 then vmed

if valor > 111 then vrap

;subrutina de velocidad rapida

;tiene un pulso 50%,50%

vrap:

pause 500

high portc.0

pause 500

low portc.0

goto inicio

; Subrutina de velocidad media

;tiene un pulso 25%,75%

vmed:

pause 750

high portc.0

pause 250

low portc.0

goto inicio

;subrutina de velocidad baja

;tiene un pulso 10%,90%

vbaj:

pause 900

high portc.0

pause 100

low portc.0

goto inicio

;subrutina de paro de motor

para:

low portc.0

goto inicio

goto inicio

end

Adquisición de Datos usando Matlab

La interconexión a nivel de computadoras personales que contienen tarjetas de adquisición de datos a procesos, nos permiten realizar experimentos y desarrollar proyectos en diferentes áreas (procesamiento de señales, control automático, etc.). Mostramos los pasos necesarios para realizar la adquisición de datos analógicos a través de la tarjeta PCI 6024E utilizando como interface de programación el MATLAB.

También se muestra cómo producir una salida de datos analógicos con el mismo sistema. El MATLAB se ha convertido en un poderoso software de ingeniería a través del cual podemos implementar diferentes técnicas de procesamiento de datos, aumenta esa potencia por la ventaja de poder acceder a procesos mediante la toma de datos de estos, procesarlos y modificar el comportamiento del proceso mediante la salida de datos. Se indica cómo se puede acceder a señales analógicas de entrada y salida de un proceso, con las facilidades que ofrece el MATLAB.

Contando con un sistema de adquisición de datos, basado en una tarjeta DAQ (data acquisition) de National Instruments PCI 6024E y el software MATLAB versión 2007 a de Math Works, se han realizado pruebas de lectura de datos analógicos, así como generado salidas de señales digitales. Se describirá los pasos necesarios para realizar esas operaciones [1],[2]. MATLAB se ha constituido en un programa de alto nivel bastante utilizado en ingeniería.

INSTALACIÓN DEL SOFTWARE REAL-TIME WINDOWS TARGET

Para poder realizar adquisición de datos con MATLAB, se requiere instalar el software Real-Time Windows Target que forma parte del mismo MATLAB. Este software permitirá que las aplicaciones accedan al Kernel del sistema donde los ejecutables deben ser cargados y ejecutados. El driver del modo Kernel intercepta las interrupciones de tiempo del reloj del computador, manteniéndolas para operaciones del sistema Windows y asegura la ejecución de las aplicaciones en tiempo real. La instalación del Real-Time Windows Target, se realiza en el área de trabajo del MATLAB, escribiendo

```
>>rtwintgt -install
```

Para verificar las características resultado de la instalación del Kernel, puede escribir :

```
>>rtwho
```

El Real-Time Windows Target requiere de un compilador C que no está incluido en el software de MATLAB. De no tener instalado algún compilador C en su computadora, es necesario instalar uno. Para elegir el compilador C, de entre los instalados debe escribir en el área de trabajo :

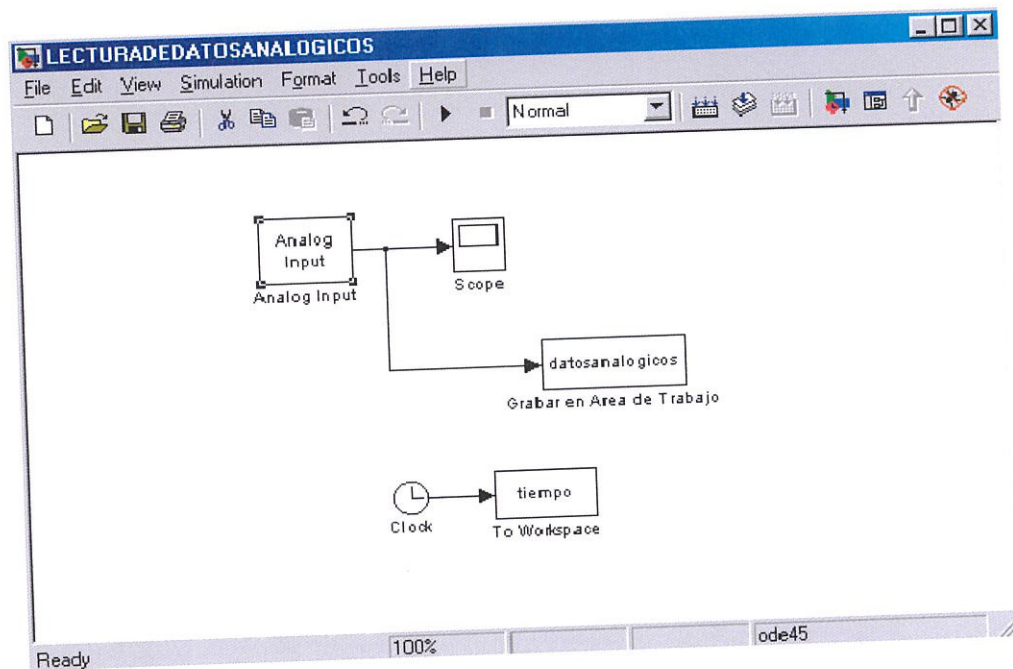
```
>>mex -setup
```

Ud. debe indicar que le muestre la lista numerada de compiladores instalados y luego debe escoger el que desee, escribiendo el número correspondiente. Normalmente se recomienda elegir si está en la lista el Microsoft Visual Studio C/C++.

LECTURA DE DATOS ANALÓGICOS

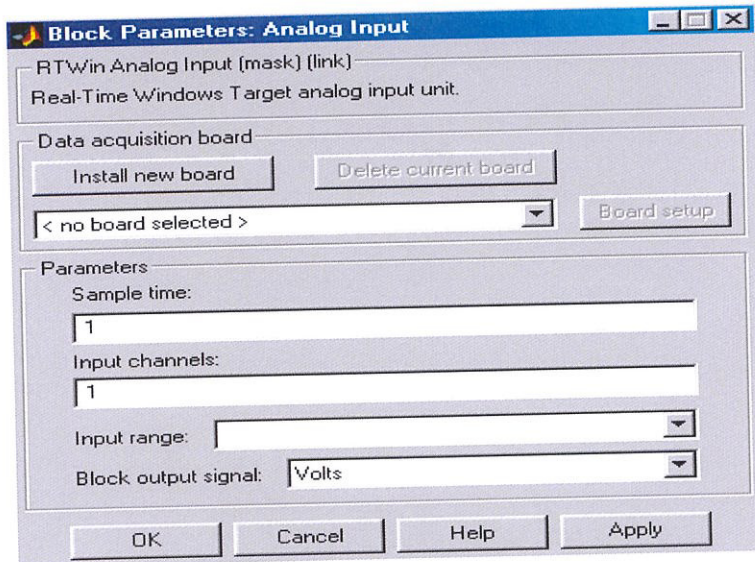
Luego de instalado el Kernel mediante el Real-Time Windows Target y elegido el compilador para crear los ejecutables para ser usados en tiempo real, ya podemos hacer uso de las librerías de MATLAB para adquisición de datos. Para leer datos analógicos, se conectan esas señales analógicas a los puertos de entrada de la DAQ. Luego cree un modelo nuevo en Simulink, como se muestra en ejemplo en la figura 1.

De la librería Real-Time Windows Target seleccione y arrastre el bloque Analog Input, el cual nos permitirá la lectura de datos Analógicos. Para poder visualizar los datos adquiridos agregue un elemento Scope. Opcionalmente puede agregar un elemento ToWorkspace, para crear una variable que almacene los datos adquiridos en el área de trabajo del Matlab. Se muestra también la creación de una variable para la base de tiempos.



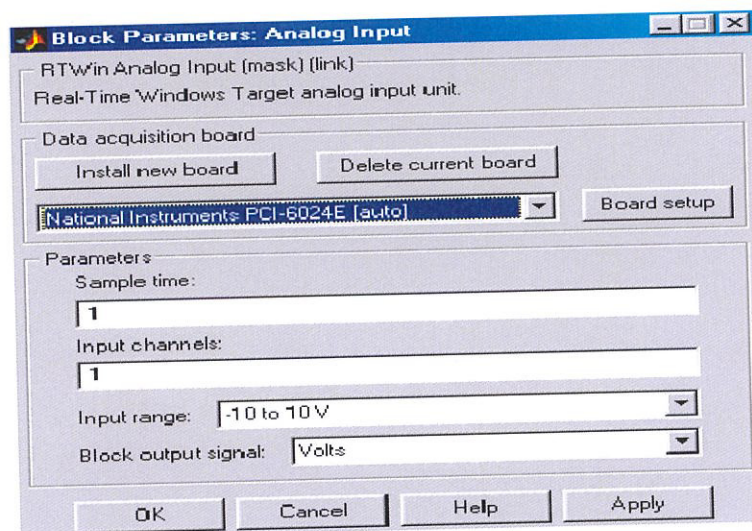
Creación de modelo de lectura de datos.

Debemos configurar el bloque Analog Input, seleccionémoslo y hagamos doble clic en él y aparecerá la pantalla de la figura 2.



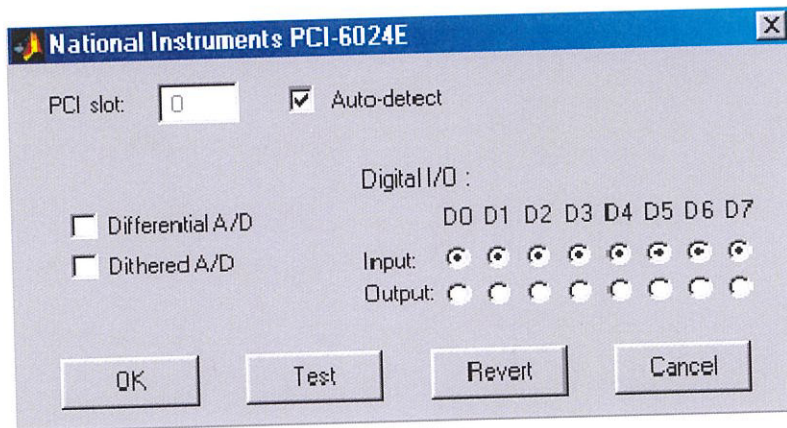
Pantalla para configurar bloque Analog Input

Primero debe seleccionar de las tarjetas de adquisición de datos instaladas en su computador, la que está usando (en este caso National Instruments PCI-6024E). Observe la figura



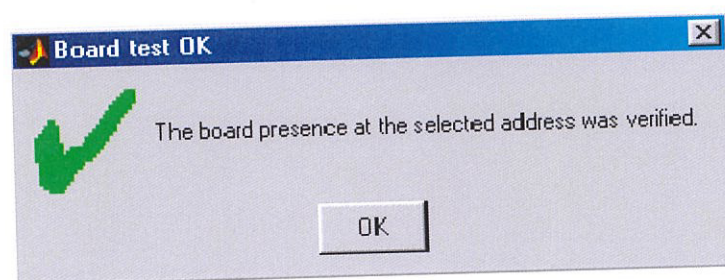
Selección de DAQ National Instruments PCI-6024E

Aparecerá en el modelo del proyecto el bloque AnalogInput indicando la tarjeta seleccionada



Pantalla para test de tarjeta DAQ

Pulse Test para verificar el estado de la tarjeta; en caso de estar en perfecto estado envía un mensaje con la pantalla mostrada en la figura.



Pantalla de verificación de DAQ.

En esa pantalla pulsamos OK y regresamos a pantalla de configuración (figura 3). Ahora configuramos el período de muestreo a utilizar y los canales a utilizar en la lectura de datos analógicos, como muestra la figura 7.

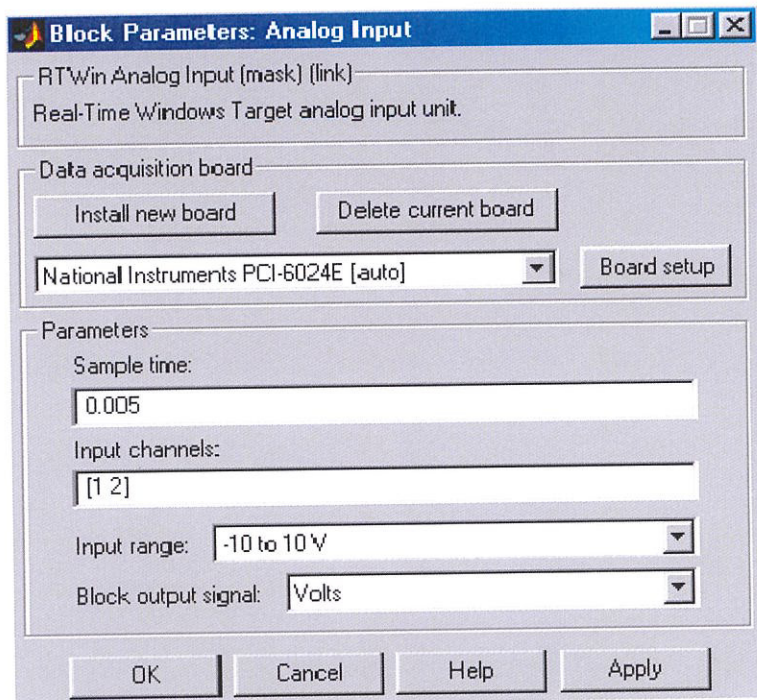


Fig. 7. Configura período de muestreo y canales de lectura

Finalizamos pulsando OK. Continúa la configuración de los parámetros de la presentación de la simulación. En la barra de menús Tools del modelo, seleccionar Externalmode control panel. Aparece la pantalla mostrada en la figura 8.

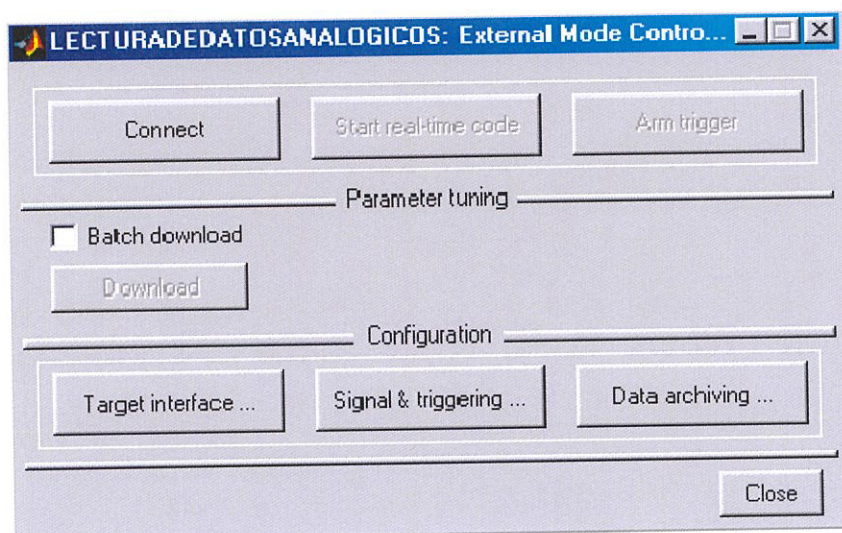


Fig. 8. Pantalla ExternalMode Control Panel

Seleccionar la opción Target interface, escribir en el MEX-file: rtwinext.
Observe la figura 9.

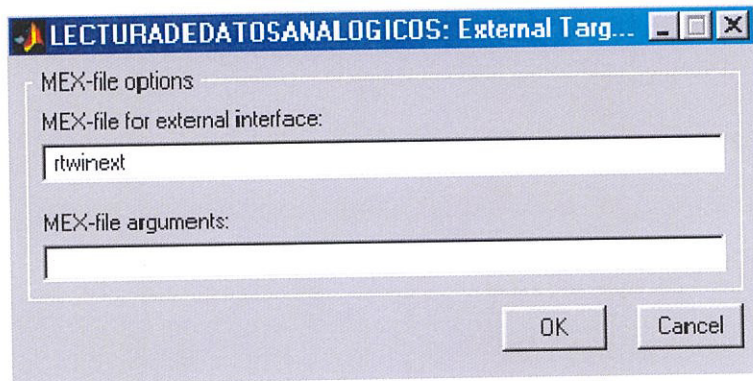


Fig. 9. Configuración del MEX-file

Con OK, regresamos a pantalla Externalmode control panel, (figura 8.) seleccionar signal&triggering. Configurar el número de datos adquiridos que presentarán los bloques Scope y almacenarán los bloques ToWorkspace.

Observe figura 10.

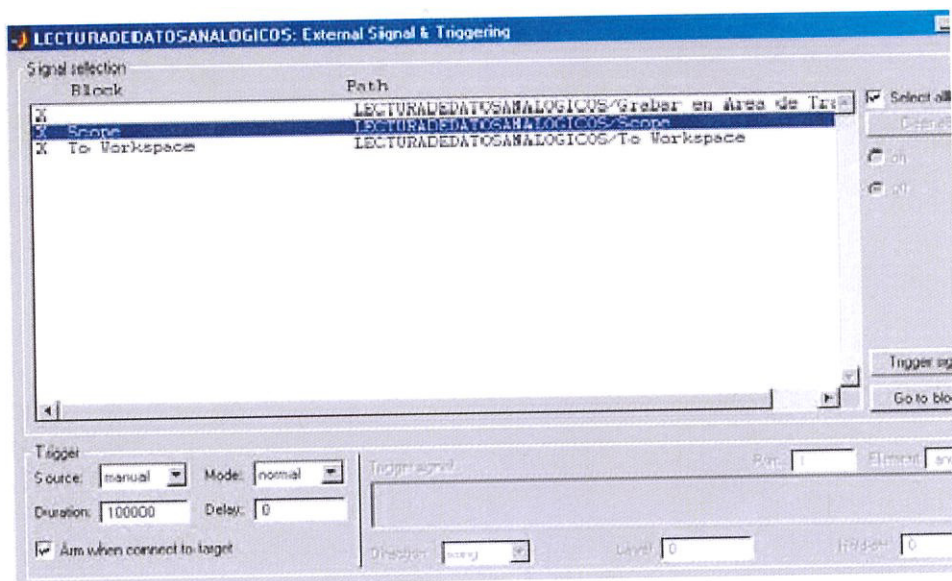


Fig. 10. Configurar número de puntos que presentarán los Scope.

Luego pulsamos Apply y Close para terminar esta configuración. Continúa ahora la configuración de los parámetros de simulación. En la barra de menús Simulation del modelo, seleccionar Solver y aparece pantalla de la figura 11.

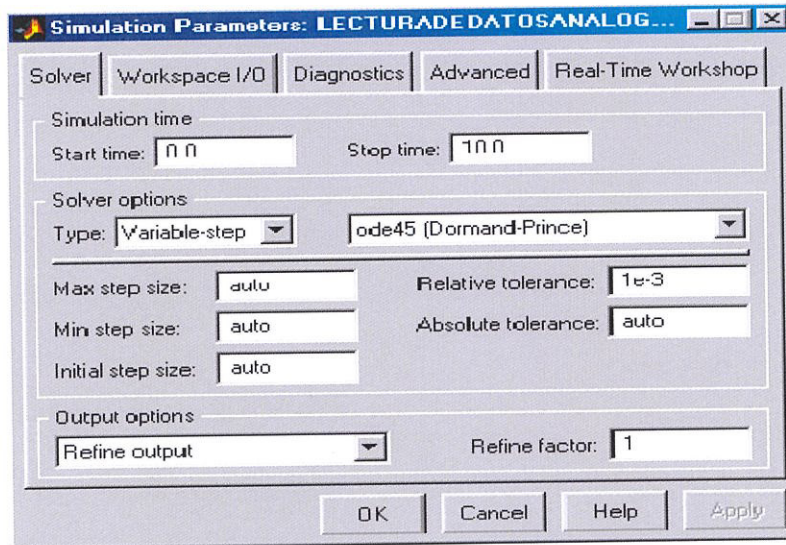


Fig. 11. Configurar solución de simulación.

Seleccionamos tipo de solución Fixed-step y Ode5. Observe figura 12.

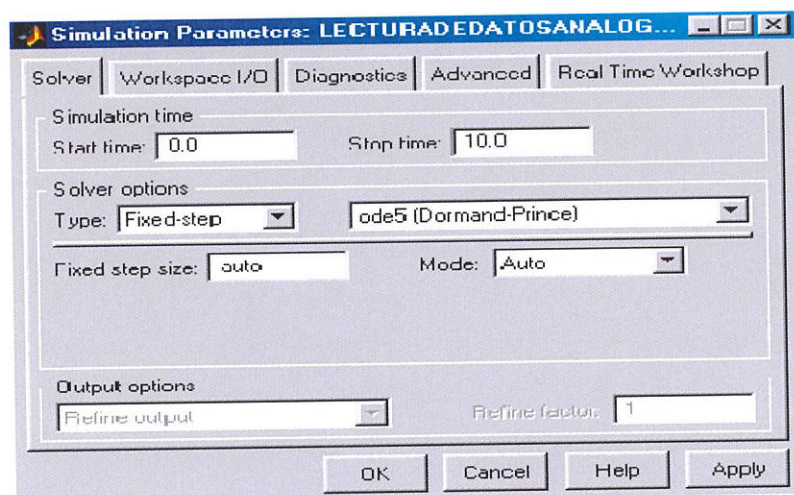


Fig. 12. Selección del modo de solución.

En la misma pantalla seleccionar Real-Time Workshop. Aquí configuraremos las opciones de Creación y ejecución en tiempo real. Aparece inicialmente la pantalla de la figura 13.

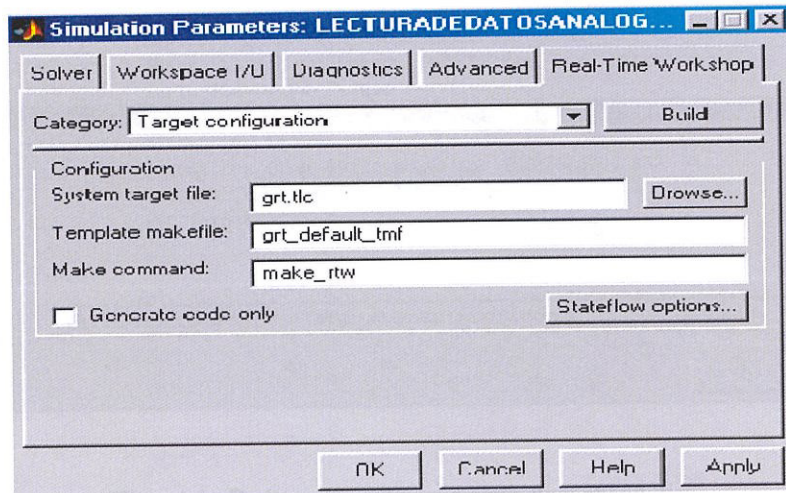


Fig. 13. Pantalla de configuración de opciones de creación y ejecución en tiempo real.

Al pulsar Browse, aparecen los diferentes archivos para el manejo de de creación y ejecución en tiempo real. Seleccionar :rtwin.tlc. Observe figura 14.

Fig. 15. Manejador rtwin.tlc para la DAQ.

Luego de pulsar OK, hemos terminado la configuración de la lectura de datos analógicos.

Para realizar la adquisición de datos de lectura analógica; en la barra de menús Simulation del modelo, seleccionar External, como muestra la figura 16.

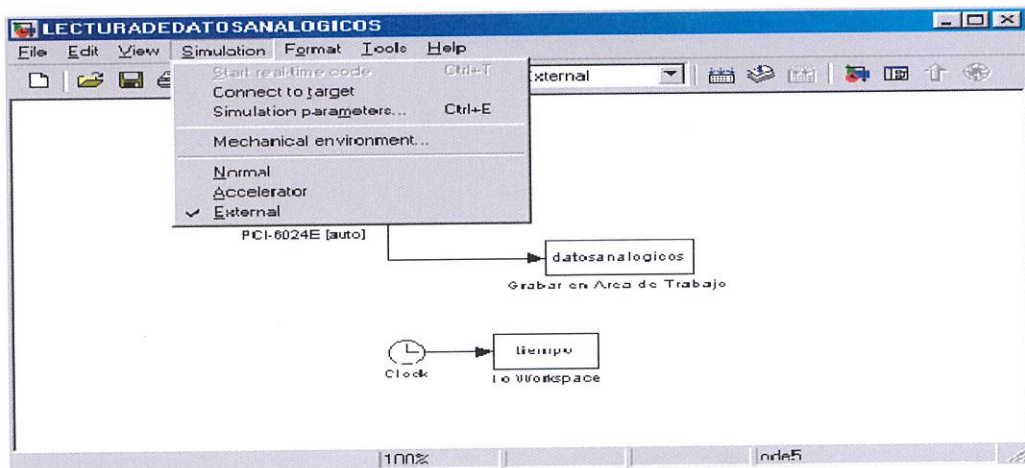


Fig. 16. Selección del modo External.

Luego debemos ordenar que se construya el modelo diseñado, para ello en la barra de menús Simulation del modelo, seleccionar SimulationParameters y Build, como muestra la figura 17.

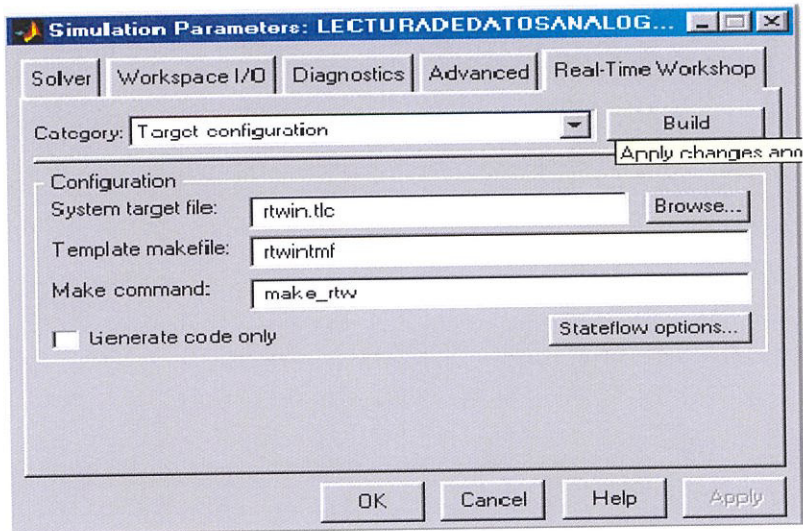


Fig. 17. Orden de construcción del modelo.

El proceso de construcción se puede observar en la pantalla del Matlab, mediante mensajes como se aprecia en la figuras 18.

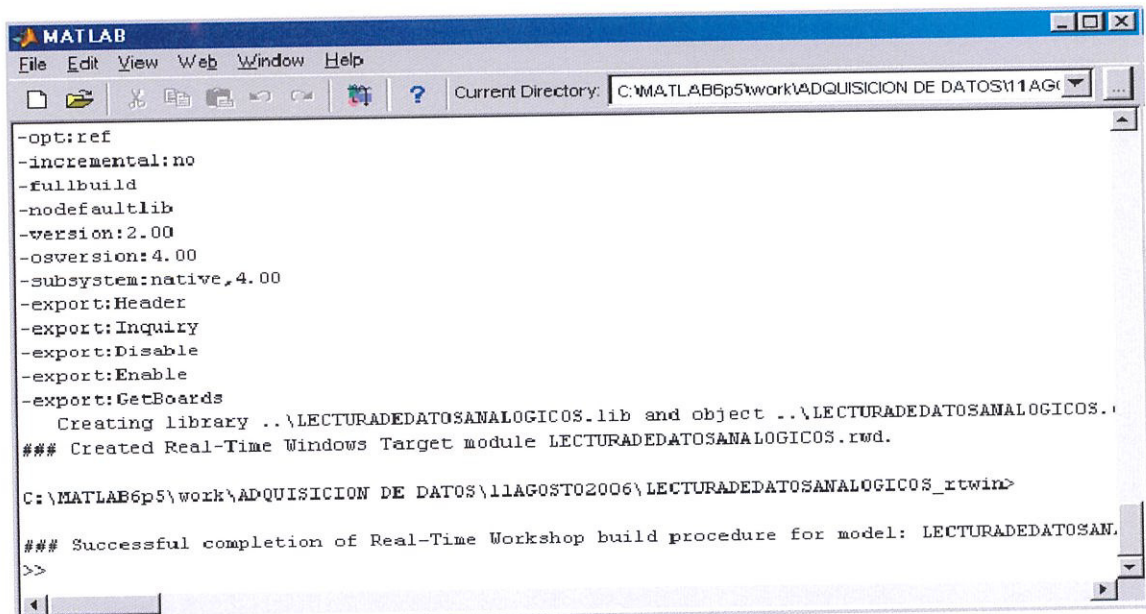


Fig. 18. Mensajes del proceso de construcción.

Durante el proceso de construcción se crean un grupo de archivos, como los mostrados en las figuras 19 y 20.

Nombre	Tamaño	Tipo
LECTURADEDATOSANALOGICOS_rtwin		Carpeta de archivos
LECTURADEDATOSANALOGICOS	9 KB	Rose Model
LECTURADEDATOSANALOGICOS.rwd	18 KB	Archivo RWD

Fig. 19. Carpetas generadas en construcción del modelo.

Nombre	Tamaño	Tipo
ext_svr.obj	13 KB	Archivo intermedio
LECTURADEDATOSANALOGICOS	1 KB	Archivo por lotes MS-DOS
LECTURADEDATOSANALOGICOS.c	7 KB	Archivo de código fuente de C
LECTURADEDATOSANALOGICOS.h	4 KB	Archivo de encabezado de C
LECTURADEDATOSANALOGICOS.mk	15 KB	Archivo MK
LECTURADEDATOSANALOGICOS.obj	7 KB	Archivo intermedio
LECTURADEDATOSANALOGICOS_data.c	1 KB	Archivo de código fuente de C
LECTURADEDATOSANALOGICOS_data.obj	1 KB	Archivo intermedio
LECTURADEDATOSANALOGICOS_dt.h	2 KB	Archivo de encabezado de C
LECTURADEDATOSANALOGICOS_private.h	3 KB	Archivo de encabezado de C
LECTURADEDATOSANALOGICOS_targ_data_map	3 KB	MATLAB M-file
LECTURADEDATOSANALOGICOS_types.h	1 KB	Archivo de encabezado de C
modelsources	1 KB	Documento de texto
rt_nonfinite.obj	2 KB	Archivo intermedio
rt_sim.obj	4 KB	Archivo intermedio
rt_stub.obj	4 KB	Archivo intermedio
rtw_proj.tmw	1 KB	Archivo TMW
updown.obj	12 KB	Archivo intermedio

Fig. 20. Archivos generados en construcción del modelo.

Antes de ejecutar el modelo de lectura de datos analógicos, debemos ordenar la conexión con la tarjeta de adquisición de datos. Debajo de la barra de menús del modelo, seleccionar el icono de conexión de con la tarjeta DAQ, como muestra la figura 21.



CIB - ESPOL

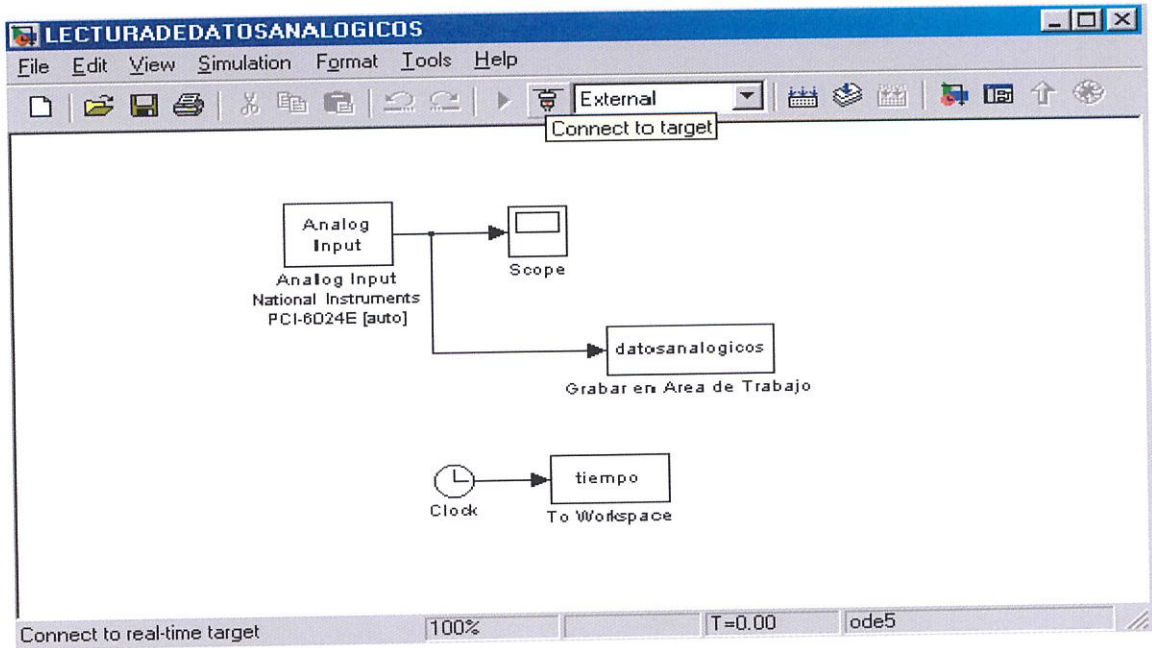


Fig. 21. Orden de conexión con la tarjeta de adquisición de datos.

La figura 22, muestra el proceso de conexión con la la tarjeta de adquisición de datos.

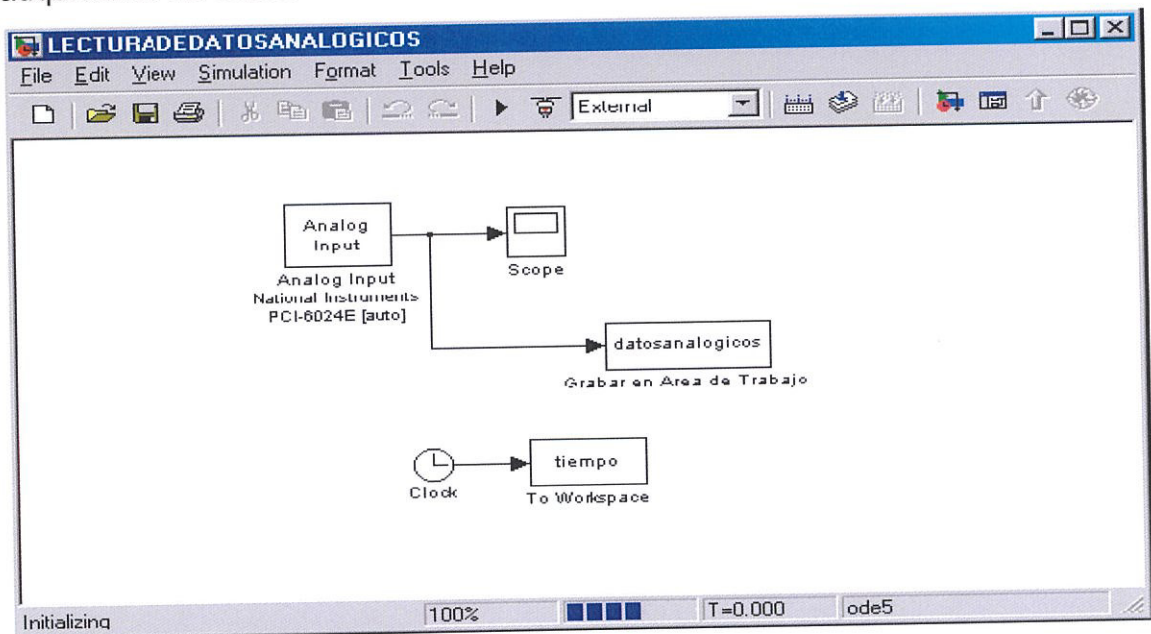


Fig. 22. Conexión con la tarjeta de adquisición de datos

Para ejecutar el modelo debajo de la barra de menús del modelo, seleccionar el icono de ejecución del modelo (StartSimulation), como muestra la figura 23.

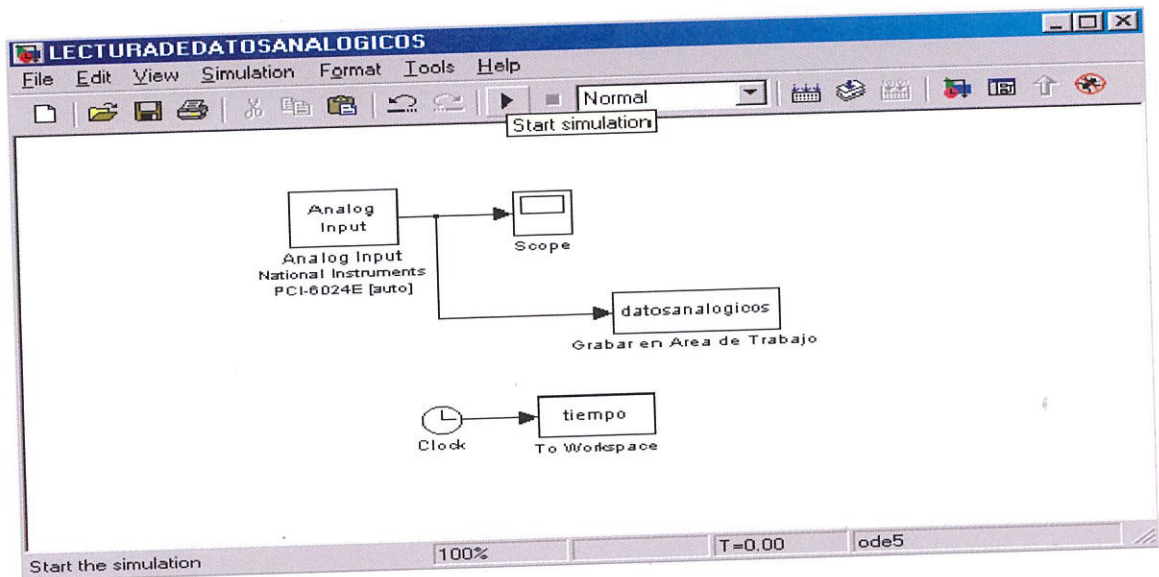


Fig. 23. Orden de ejecución del modelo.

Conforme se ejecuta el modelo, Ud. puede observar en el Scope del modelo las señales adquiridas, como muestra la figura 24.

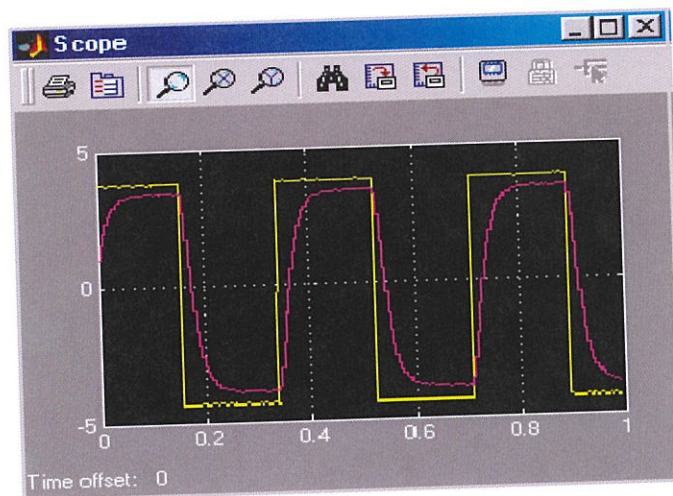


Fig. 24. Datos adquiridos que muestra el Scope.

Otra forma de obtener los gráficos de las señales adquiridas, es utilizar las variables almacenadas en el área de trabajo. La figura 25, muestra



el grafico de las señales adquiridas, ploteadas a partir de las variables almacenadas en el área de trabajo.

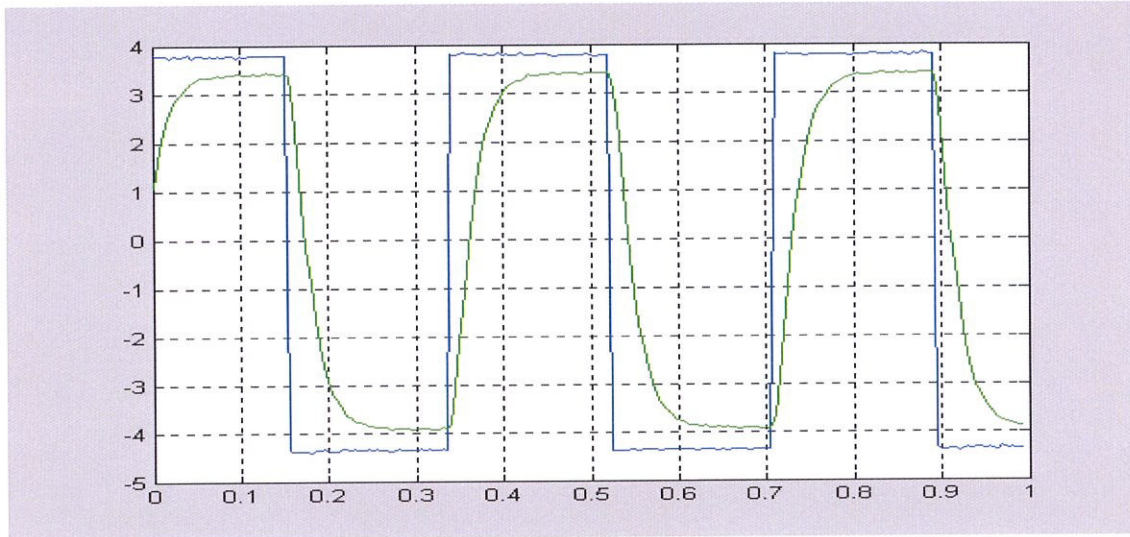


Fig. 25. Ploteo de las señales adquiridas, a partir de las variables almacenadas en el área de trabajo.