

# INTERFAZ GRÁFICA EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE CRITERIOS DE BONDAD DE AJUSTE

*Interface graphics matlab criteria for the calculation  
of adjustment of kindness*

AILET ABREU LÓPEZ\*, JOSÉ RAFAEL ABREU GARCÍA\*\*,  
IVÁN IGLESIAS NAVARRO\*\*\*

*Recibido: 26 de Septiembre de 2015. Aceptado: 19 de Noviembre de 2015*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2016.v3.n5.a1>*

## RESUMEN

El proceso de identificación de sistemas conlleva a un paso final inevitable de validación de los modelos obtenidos, tarea que precisa de la experiencia acumulada del investigador. Con el objetivo de mejorar dicho proceso se lleva a cabo el presente trabajo, que se describe a continuación, en el que se desarrolló una interfaz gráfica capaz de calcular y mostrar criterios numéricos que miden la bondad de ajuste, para apoyar al proceso de selección de las estructuras identificadas, tales como: Cuadrados medios del residuo (o del error), Criterio de información de Akaike, Criterio de información bayesiano y Coeficiente de determinación. Por otro lado se describen las pruebas realizadas para la validación de la efectividad de la interfaz, evidenciando muy buenos resultados en su funcionamiento. Se realizaron pruebas con datos reales, obtenidos del proceso de floculación de una planta de tratamiento de residuales de la refinería «Camilo Cienfuegos» en la ciudad de Cienfuegos, Cuba.

**Palabras clave:** identificación de sistemas, criterios de validación, interfaz gráfica, bondad de ajuste.

## ABSTRACT

The system identification process leads to an inevitable final step of validation of the models obtained, a task that requires the accumulated experience of the investigator. With the aim of improving the process it is carried out this work, described below, in which a graphical interface capable of calculating and displaying numerical criteria that measure the goodness of fit, to support the selection process developed Mean squares residual (or error), Akaike information Criterion, Bayesian information Criterion and coefficient of determination: identified, such as structures. Furthermore tests conducted to validate the effectiveness of the interface are described, showing very good results in performance. Tests were performed with real data, obtained from a flocculation process wastewater treatment plant refinery le «Camilo Cienfuegos» in the city of Cienfuegos, Cuba.

**Keywords:** system identification, validation criteria, graphical interface, goodness of fit.

## I. INTRODUCCIÓN

EL DISEÑO de un controlador, requiere de un modelo de la planta a controlar que caracterice

su comportamiento dinámico, que a su vez permita realizar y validar, mediante simulación el ajuste de los parámetros del controlador. Uno de los métodos existentes es el de Identificación

\* Magíster (e) en Automática y Sistemas informáticos. Ingeniera en Automática. Profesora Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática. Universidad Central de Las Villas - Santa Clara, Cuba. Correo electrónico: aileta@uclv.cu

\*\* Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero Electricista. Profesor Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática. Universidad Central de Las Villas - Santa Clara, Cuba. Correo electrónico: abreu@uclv.edu.cu

\*\*\* Magíster en Automática y Sistemas informáticos. Ingeniero en Automática. Profesor de Automática, Facultad de Ingeniería en Ciencia Aplicadas. Universidad Técnica del Norte - Ibarra, Ecuador. Correo electrónico: iglesiasnavarro@gmail.com

Experimental, el cual permite obtener el modelo de un sistema a partir de datos reales obtenidos de la planta bajo estudio [1].

Se pueden encontrar en la práctica múltiples técnicas para identificar un sistema y obtener el modelo correspondiente. Cada método ofrecerá un modelo diferente que puede ser validado mediante técnicas específicas. En la práctica la validación se hace por el investigador lo que lleva implícito un grado de subjetivismo al decidir si es adecuado o no para una aplicación dada [2].

Diferentes autores [1, 3-5] coinciden en que se hace conveniente probar varias estructuras y diferentes órdenes dentro de cada una, hasta obtener la que mejor se ajuste y describa la dinámica del sistema, a partir de los datos obtenidos experimentalmente, proceso que se conoce como validación del modelo. Las estructuras más utilizadas son las paramétricas, las cuales describen las relaciones entre las variables del sistema mediante expresiones matemáticas.

En todos los casos analizados la selección del modelo más adecuado se realiza mediante el análisis de diferentes criterios individuales y en algunas ocasiones partiendo del comportamiento comparativo del modelo y del sistema real.

En la bibliografía consultada no se han encontrado referencias a trabajos que partan de la comparación de diferentes modelos utilizando un índice de comportamiento que pondere figuras de mérito de cada uno de ellos. Es por ello necesario encontrar relaciones que permitan determinar cuáles, entre diferentes modelos de un mismo sistema, el más idóneo para una aplicación específica.

## II. CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LA BONDAD DE AJUSTE

Un proceso industrial puede ser modelado de varias formas obteniéndose por lo tanto diferentes modelos para describir el mismo proceso. *MatLab* en sus últimas versiones y mediante su herramienta *IDENT* permite determinar los tipos de modelo, *ARX*, *ARMAX*, *BJ*, *IV4*, *N4SID* y *OE* [1] [6].

En aplicaciones ingenieriles los más usados son las estructuras *ARX* y la *ARMAX* razón por la cual

fueron seleccionadas para este trabajo, aunque los resultados obtenidos pueden ser fácilmente extendidos a los otros tipos de estructuras de modelos.

La obtención de un modelo, utilizando *MatLab*, además de los datos reales, requiere de la especificación del orden de cada uno de los polinomios, es decir *na*, *nb*, *nc*, y el retardo *nk*, por lo que es posible obtener para un conjunto de datos y un tipo de modelo diferentes representaciones de acuerdo a los órdenes especificados de los polinomios y atrasos [3] [7].

Intuitivamente se puede pensar que un modelo es más adecuado cuando mejor represente al proceso que modela de acuerdo a los fines para lo cual se ha creado, pero, como es posible saber cuál de los modelos es el que mejor representa al proceso real.

Se han desarrollado diferentes criterios [2] [8], con el fin de determinar la bondad de ajuste de un modelo específico, entre ellos se encuentran el *Criterio de Información Akaike (AIC)*, el *Criterio de Información Bayesiano (BIC)*, el *Cuadrado Medio del Error (CME)* y el *Criterio del Determinante ( $R^2$ )*.

Cada uno de estos criterios ofrece un valor numérico, que permite determinar dentro de un tipo de modelo, que orden es la que más se adecua a las necesidades, lo que coincide con el menor valor del criterio [8]. Existen funciones de *MatLab* que permiten, de manera directa, el cálculo de los dos primeros criterios (*AIC* y *BIC*) [9] [10], para el cálculo de los restantes se requirió desarrollar algoritmos que los determinen, partiendo de su formulación matemática, los cuales fueron implementados a través de una interfaz gráfica a la que se le dio el nombre de «*BondTool*».

### A. Propuesta de procedimiento para la determinación del modelo y el cálculo de los criterios

Para la determinación del modelo y el cálculo de los criterios de bondad de ajuste se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Cargar los datos reales.
- 2) Determinar el número de datos.
- 3) Dividir los datos reales en dos partes; una destinada a la identificación y la otra a la verificación del modelo obtenido.

- 4) Declara el número de modelos que se desean obtener y el ORDEN de cada uno de ellos.
- 5) Iniciar contador del número de modelos obtenidos.
- 6) Determinar, de acuerdo al orden, si el modelo es ARX o ARMAX.
- 7) Si el modelo ARX se inicia contador específico para el número de esta estructura de modelo, si no es ARX se inicia el contador de modelos ARMAX.
- 8) De acuerdo al tipo de modelo se calcula este para el orden especificado.
- 9) Se determinan los criterios AIC, BIC, CME y  $R^2$  correspondiente al modelo y al orden especificado.
- 10) Se incrementa en 1 el contador específico.
- 11) Se determina si el número de modelos obtenidos es igual al total de modelos que se desea obtener.
- 12) Si aún no se han procesado todos los modelos se incrementa en uno el número de modelos y se regresa al paso 6.
- 13) Si ya se procesaron todos los modelos se finaliza el proceso.

Al concluir el proceso se dispondrá de la información acerca del valor de los índices para cada estructura de modelo y orden especificado, pudiéndose seleccionar dentro de una estructura y criterio de bondad cual es el orden que mejor se ajusta, que coincide con el menor valor que ofrece el criterio.

### III. GENERALIDADES DE LA APLICACIÓN *BONDTOOL*

Antes de describir el funcionamiento de la aplicación *BondTool*, se hace necesario conocer algunos aspectos de carácter general que deben ser dominados por el usuario. El propósito general que trae consigo dicho software, es facilitar dentro del proceso de identificación de sistemas, la selección del mejor modelo para una aplicación determinada, y por ende esta aplicación va destinada a usuarios que dominen los principales elementos relacionados con la identificación.

Como se explica anteriormente, con el fin de la identificación de un sistema real, existen diversos tipos de estructuras de modelos, siendo necesario

que el usuario defina la estructura que necesita para determinar su modelo.

Según bibliografía consultada, para la elección de la estructura es necesario conocer las características de cada una de ellas. [11]

La estructura ARX se define mediante la relación:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (1)$$

como se puede apreciar para esta estructura solo se obtendrán dos polinomios, para los cuales se necesita un vector de ordenes conformado por:  $na$  (grado del polinomio A),  $nb$  (grado del polinomio B) y  $nk$  (retardo del polinomio B).

La estructura ARMAX se define por:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (2)$$

incluye  $nc$  (grado del polinomio C) al vector, ya que esta dará como resultado tres polinomios.

Otro aspecto que resulta de vital interés señalar, es la elección de los criterios para determinar la bondad de ajuste (*AIC*, *BIC*, *CME* y  $R^2$ ), implementados en la aplicación *BondTool*.

Partiendo de la bibliografía consultada se pudo conocer las características principales de estos criterios de validación:

Criterio del determinante  $R^2$ :

El coeficiente de determinación mide el porcentaje de variación total en Y debido a las variables que toma el investigador. Este valor se obtiene a partir de la suma de los cuadrados del error (SCE) y de la suma de los cuadrados totales (SCT), a partir de la ecuación.

$$R^2 = 1 - \frac{SCE}{SCT} \quad (3)$$

La SCE corresponde a la suma de los cuadrados de las distancias de los puntos desde la curva de mejor ajuste, en tanto la SCT es la suma de los cuadrados de las distancias de los puntos desde una línea horizontal correspondiente a la media de todos los valores de Y.

Cuadrado medio del residuo o del error CME:

CME es una medida que agrupa la variabilidad de aquellos factores que no tiene en cuenta el investigador. La varianza de  $n$  residuales  $e_i$  se representa como:

$$CME = \frac{\sum(e_i - \bar{e})^2}{n - K} = \frac{\sum e_i^2}{n - K} = \frac{SCE}{n - K} \quad (4)$$

Donde, es la media de residuales (número de observaciones), es el número de parámetros estimados en el modelo y SCE es la suma de cuadrados de las distancias verticales de los puntos desde la curva de regresión.

Toda vez que el CME corresponde a la varianza residual, los modelos seleccionados por su mayor capacidad de ajuste son aquellos que expresan el menor valor en este criterio.

Criterio de información de Akaike (AIC)

El criterio combina la teoría de máxima verosimilitud, información teórica y la entropía de información, y es definido por la siguiente ecuación:

$$AIC = -2 * \log \text{Lik} + 2 K \quad (5)$$

Este criterio tiene en cuenta los cambios en la bondad de ajuste y las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos. Los mejores modelos son aquellos que presentaron el menor valor de AIC.

Cuando los valores de AIC están muy cercanos, la escogencia del mejor modelo se puede realizar con base en el cálculo de la probabilidad (pesos de Akaike) y la probabilidad relativa (relación de evidencia).

Criterio de información Bayesiano (BIC)

El BIC es calculado para los diferentes modelos como una función de la bondad de ajuste del  $\log \text{Lik}$ , el número de parámetros ajustados ( $K$ ) y el número total de datos ( $N$ ). El modelo con el más bajo valor de BIC es considerado el mejor en explicar los datos con el mínimo número de parámetros. El BIC está definido por la ecuación:

$$BIC = -2 * \log \text{Lik} + \log(N) * K \quad (6)$$

## A. Componentes de la aplicación BondTool

La interfaz *BondTool* está conformada por dos ventanas principales y un conjunto de ventanas secundarias, que permiten la comunicación con el usuario; como son mensajes de error, avisos, preguntas y cuadros de diálogo.

La ventana principal nombrada *BondTool*, mostrada en la fig. 1, se considera la más importante, ya que en ella se desarrolla casi la totalidad de códigos de la aplicación; se encuentra conformada por 19 componentes que fueron encapsulados en 3 paneles principales, para de esta forma agrupar los controles de acuerdo a su utilidad o función dentro de la interfaz.

## IV. PANELES DE LA APLICACIÓN, COMPONENTES, FUNCIONALIDAD Y VALIDACIONES

### A. Panel «Iniciar»

El primer panel que se muestra en la Fig. 2, cuenta con un *push button* o botón con *string* «Iniciar» (en este caso la palabra «string» es utilizada por *MatLab* para nombrar las etiqueta de los controles contenidos dentro del *toolbox* de diseño de interfaces). Este botón será utilizado para activar el primer *edit text* (donde se determinara la cantidad de modelos que se desea estimar) y para cargar los datos desde un archivo con extensión «.mat» nombrado «planta» que se almacena en el directorio de la aplicación.

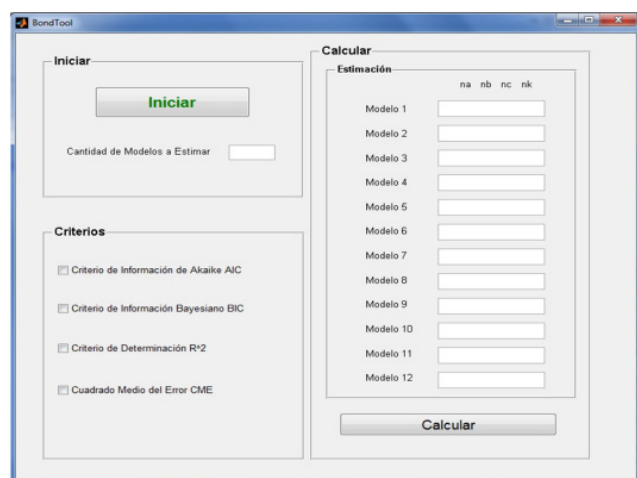


Fig. 1. Ventana principal de la aplicación *BondTool*.

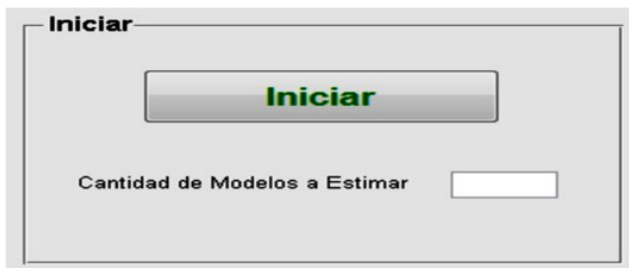


Fig. 2. Panel «Iniciar» de la aplicación.

Además en este panel se encuentra el primer *edit text* con nombre «Cantidad de Modelos a Estimar», insertado en un *static text*, utilizado para que el usuario introduzca la cantidad de modelos que desea y a su vez para habilitar los *edit text* que serán usados para los ordenes de los modelos, los cuales se activaran en función de la cantidad deseada.

El *edit text* del panel «Iniciar» está diseñado para capturar la cadena de caracteres introducida por el usuario, por lo que es válido resaltar que la inclusión de las mismas en la interfaz se produce en formato *string*. Por tanto, para poder trabajar con estos valores, se hizo necesaria la conversión a formato *double* a través de la función «*str2double*».

#### Validaciones del panel «Iniciar»

La cantidad de modelos que el usuario desee estimar, fue restringida a doce modelos, es por ello necesario realizar algunas validaciones como:

- En el *edit text* solo se admitirán valores numéricos definidos entre los rangos permisibles (1 a 12), (máximo número de modelos a estimar). En caso de insertarse algún valor que no cumpla con este rango, el usuario recibirá un aviso de error y tendrá que insertar otra cantidad.
- El *edit text* no permitirá valores numéricos negativos ni caracteres de cadenas. Si no se cumple con dicha condición, el usuario recibirá un aviso de error, e igualmente el valor erróneo desaparecerá para que este pueda introducir uno correcto.

En la Fig. 3 se puede ver un ejemplo de lo que ocurre al pasar un dato erróneo.

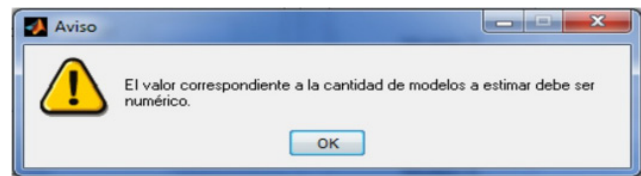


Fig. 3. Aviso sobre qué tipo de valores debe pasarse en el *edit text*.

#### B. Panel «Criterios»

El segundo panel se encarga de la selección de todos los criterios de bondad de ajuste o los que se deseen dentro de los programados en la aplicación. Está conformado por cuatro *checkbox* con los string «Criterio de Información de Akaike AIC», «Criterio de Información Bayesiano BIC», «Criterio del Determinante  $R^2$ » y «Cuadrado Medio del Error CME», respectivamente.

#### C. Panel «Estimación»

Este panel es el encargado de agrupar los controles donde se deben introducir los órdenes necesarios para la estimación de los modelos. El mismo consta principalmente de doce *edit text*, que se destinan a la inserción de los valores de  $na$ ,  $nb$ ,  $nc$ ,  $nk$  para cada modelo necesarios en la aplicación.

#### Validaciones del panel «Estimación»

Seguidamente se explican las principales validaciones implementadas en el panel.

- Los *edit text* destinados a la inserción de los ordenes estarán deshabilitados y vacíos al iniciar la aplicación; solo se utilizaran si se selecciona correctamente la cantidad de modelos a estimar.
- En los *edit text* no se permitirán valores numéricos con signo negativo ni cadenas de caracteres. En caso de insertarse algún valor que no cumpla con esto, el usuario recibirá un aviso de error, e inmediatamente los valores erróneos desaparecerán para que este pueda introducirlos correctamente.
- Algo muy importante, es que en los *edit text* se introduzcan los valores de los ordenes correctamente ( $[na\ nb\ nc\ nk]$ ). En caso de

que se inserte algún valor de más, o no insertarse los cuatro órdenes, el usuario tendrá la posibilidad de corregirlo después de recibir la señal de error.

- En los *edit text*, los ordenes *na* y *nb* (que son comunes a ambas estructuras) no pueden ser cero en ningún momento, de este modo en caso de que se introduzca, en el lugar de ellos un cero, se ejecutará un aviso de error, y se procederá con el mismo procedimiento de las validaciones anteriores.
- Además solo se permitirán valores numéricos enteros en los *edit text*. En caso de que se inserte un valor que no cumpla con esta característica, el usuario recibirá un aviso de error, e inmediatamente los valores erróneos desaparecerán para que este pueda introducirlos correctamente.

En el caso particular de los valores de *nc* y *nk*, estos pueden ser cero en algunas ocasiones, debido a que si el modelo que se desea es *ARX*, entonces el valor de *nc* necesariamente tiene que ser cero, y para el caso de *nk* este puede tomar cero como valor siempre que el usuario así lo desee.

Dado que no se encontró, en *MatLab*, ninguna función que permitiera determinar si los números eran enteros, solo para los números de tipo *int8* e *int16*, mientras que los valores utilizados en esta aplicación son cadenas, se desarrolló la siguiente subrutina con el objetivo de solucionar este problema:

```
elseif c1==4 && (mo1(1,1)<=0 || mo1(1,2)<= 0 ||
mo1(1,3)<0 || mo1(1,4)<0 || (mo1(1,1)-round
(mo1(1,1)))~= 0 || (mo1(1,2)-round(mo1(1,2)))~=
0 || (mo1(1,3)-round(mo1(1,3)))~= 0 || (mo1(1,4)-
round(mo1(1,4)))~=0) error(dlg('Los valores del
vector de parámetros deben ser números ente-
ros y positivos.','Error'));
set(hObject,'String','');
mo1=0;
end.
```

Siendo:

- *c1*: el número de columnas que tiene el vector de órdenes.
- *mo1*: vector de órdenes del modelo 1 para esta subrutina, este cambia de acuerdo al número del modelo.

En esta subrutina, como condición para ejecutar la sentencia, se comprueba si la cantidad de columnas que tiene el vector de ordenes es igual a cuatro, y si alguno de los parámetros son números negativos. Por último utilizando la función *round* (redondea los valores hacia el entero más cercano) se realiza una resta de cada uno de los valores del vector con el redondeo y se comprueba si es diferente de cero. En caso de que sea diferente de cero, entonces el valor no será un entero.

Es válido aclarar que, la estructura de modelo *ARX* cuenta con un vector de órdenes compuesto por [*na nb nk*] y la estructura *ARMAX* necesita la inclusión de otro orden, quedando [*na nb nc nk*]. Por tanto en la aplicación se programaron los *edit text* utilizados para la inserción de los vectores de coeficientes, para introducir los cuatro órdenes, con la aclaración, de que cuando el usuario desee obtener un modelo *ARX* el valor de «*nc*» será cero.

#### D. Panel «Calcular»

El panel «*Calcular*» está constituido por el panel «*Estimación*», y por el *push button* con string «*Calcular*».

El *push button* «*Calcular*», es el encargado de ejecutar la aplicación una vez insertados los datos necesarios para la estimación de los modelos y efectuar el cálculo de los criterios de bondad de ajuste.

#### Funcionalidad del botón «Calcular»

Luego de ejecutarse el botón «*Calcular*» y verificarse que los datos se introdujeron correctamente, se ejecuta una subrutina que carga el juego de datos «*planta.mat*» y lo divide a la mitad; una primera para la estimación de los modelos y la otra para realizar la validación de los mismos.

Luego chequea cuales de los *check box*, que contiene los criterios fueron seleccionados, asignándoles un «1» si están marcados, los cuales estaban inicialmente en cero.

Para la ejecución de la estimación de los modelos y el cálculo de los criterios, se crea una matriz, que tendrá cuatro columnas y el número de filas será igual a la cantidad de modelos que desee el usuario.

Como el orden «*nc*» queda en la tercera columna se comprueba, para cada uno de los modelos empezando por el primero, mediante un ciclo *for*, si es igual a cero, en caso de ser cierto, el modelo sería un *ARX* y por tanto se estimará el modelo mediante el siguiente algoritmo:

```
marx=arx(datose,[ma(i,1) ma(i,2) ma(i,4)])
```

Siendo «*datose*» la primera mitad del juego de datos y [ma(i,1) ma(i,2) ma(i,4)] el vector de ordenes para el modelo que se esté estimando en ese momento.

En caso de que el valor del orden «*nc*» sea distinto de cero, el modelo será un *ARMAX* y se estimará mediante:

```
marmax=armax(datose,[ma(i,1) ma(i,2) ma(i,3) ma(i,4)])
```

Seguidamente se procederá a calcular los 4 criterios, para los cuales se necesitan datos provenientes de los modelos como es el caso de la suma de los ordenes estimados del modelo, el tamaño de la muestra, la función *logLik* y el error obtenido mediante la función *pe*, los cuales fueron obtenidos a través de las siguientes funciones que se

```
SCEarx1=0;
for v=1:length(y)
SCEarx1=SCEarx1+earx1(v)*earx1(v);
end
CMEarx1=SCEarx1/(length(y)-darx1)
ysarx1=y'-earx1;
ymarx1=mean(y);
rvmyarx1=y-ymarx1;
SCTarx1=0;
for ns=1:length(y)
SCTarx1=SCTarx1+rvmyarx1(ns)*rvmyarx1(ns);
end
R2arx1=(1-(SCEarx1/SCTarx1))*100
```

muestran a continuación en un ejemplo para el modelo *arx1*:

```
AICarx1=aic(marx1); %Cálculo AIC.
darx1=ma(i,1)+ma(i,2)+
ma(i,3); %suma de los
órdenes del modelo
N=length(y); %Tamaño de la muestra
LLFarx1=darx1-AICarx1/2; %Obtención de la
función logLik
[AICarx1,BICarx1]=aicbic
(LLFarx1,darx1,N) %Cálculo del BIC
earx1=pe(marx1,planta); %Cálculo del error
mediante la función pe
```

la función *logLik*, fue necesaria obtenerla para luego proceder a calcular el valor del *BIC*, mediante una función perteneciente al *MatLab*.

El cálculo del error calculado por una función llamada *pe* la cual da como resultado la varianza de los residuales según la muestra, el cual se utilizará para el cálculo de la suma de los cuadrados de las distancias verticales de los puntos desde la curva de los residuales.

Esta secuencia está sucedida por un ciclo *for*, encargado de calcular la suma de los cuadrados del error (*SCE*), la que será utilizada para obtener el valor del *CME* y del *R<sup>2</sup>*.

Mostrados seguidamente como continuación del ejemplo del modelo *arx1*:

```
%inicializa SCE en cero
%ciclo for para determinar SCE
%Algoritmo para el cálculo del CME
%valores de salida estimados
%Valores medios de y
%SCT inicializado en cero
%Cálculo de SCT
%Determina el valor de R2
```

Siendo:

- *SCEarx1*: Suma de los cuadrados del error, la cual será utilizada para calcular el Cuadrado Medio del Error y el criterio del Determinante.
- *CMEarx1*: Cuadrado medio del error calculado mediante la división de *SCE* de la resta del tamaño de la muestra con el número de órdenes estimados del modelo.
- *ysarx1*: salida estimada del modelo.
- *y Marx1*: valor medio de la salida real.
- *rvmyarx1*: resta de la salida real y del valor medio de la misma.
- *SCTarx1*: Suma de los cuadrados totales utilizada para el cálculo del criterio del Determinante.
- $R^2$ : Criterio del determinante, para el cual se utiliza la *SCE* y la *SCT*, y su resultado esta expresado en por ciento.

Con el algoritmo mostrado anteriormente se completa el cálculo de los criterios de bondad de ajuste, que luego serán mostrados en la ventana «Resultados».

Es necesario aclarar que este ciclo se repite hasta completar la cantidad de modelos, y que el usuario puede determinar los doce modelos con una misma estructura o alternar con las dos propuestas.

#### Validaciones del botón «Calcular»

- En caso de que el usuario ejecute el botón, sin antes haber entrado el *string* con la cantidad de modelos que desea estimar, se envía un mensaje de aviso explicando la necesidad de poner la cantidad de modelos.
- Si el usuario introduce en la aplicación la cantidad de modelos pero no marca ningún criterio y ejecuta el botón «Calcular», entonces recibirá un mensaje de aviso pidiéndole que al menos seleccione un criterio de los cuatro propuestos.

- En caso de que introduzca bien la cantidad de modelos y seleccione al menos uno de los criterios, y ejecute el botón sin antes haber introducido correctamente los parámetros, se dará para que introduzca correctamente los órdenes.
- Si el usuario marca correctamente los criterios y la cantidad de modelos, pero no introduce todos los datos de los modelos, recibirá un mensaje de aviso para que introduzca correctamente los órdenes según la cantidad de modelos que seleccionó.

#### E. Ventana «Resultados»

Los resultados obtenidos, luego de presionar el botón son enviados a la segunda ventana principal, nombrada «Resultados».

Esta ventana está compuesta por 96 *edit text*, dedicados a la organización de los resultados y 34 *static text*, de ellos 8 para mostrar las casillas en las que se colocarán los criterios, 24 para el número de modelo y 2 para dividir los resultados de los modelos en modelos ARX y modelos ARMAX.

En esta ventana se declararon variables globales, destinadas a la obtención de los valores calculados para cada criterio. Estas también fueron declaradas en el fichero «BondTool.m», y se utilizan para luego poder obtenerlas desde cualquier interfaz con solo hacer una llamada a la variable global.

### V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Uno de los juegos de datos utilizados para realizar la validación está conformado por una muestra de 165 valores, donde la salida es el flujo de recirculación a flotadores y la entrada su valor deseado (señal PRBS).

Para la realización de las pruebas, con este juego de datos se estimaron cinco modelos, de ellos dos presentan estructura ARX y los restantes ARMAX. Los datos necesarios para la obtención de los resultados se muestran en la Fig. 4.



Estimación	
	na nb nc nk
Modelo 1	2 1 0 0
Modelo 2	3 2 2 1
Modelo 3	4 2 0 1
Modelo 4	5 4 4 0
Modelo 5	6 2 3 1

Fig. 4. Datos para calcular los modelos.

En la Fig. 5 se muestra una porción de la ventana «Resultados» con los valores obtenidos para cada uno de los criterios de validación.

APLICANDO ARX							
	1	2	3	4	5	6	7
AIC	0.42822	0.46709					
BIC	10.3361	20.2869					
R <sup>2</sup>	0.99172	0.99259					
CME	6.8012	6.1781					

APLICANDO ARMAX							
	1	2	3	4	5	6	7
AIC	0.24335	0.20156	0.18904				
BIC	23.3665	43.1445	36.5254				
R <sup>2</sup>	0.73514	0.99534	0.92843				
CME	222.9275	4.0216	61.0425				

Fig. 5. Resultados obtenidos por la interfaz *BondTool*.

El análisis del mejor de los modelos no puede resumirse a una simple comparación entre estos criterios, debido a que cada uno de ellos mide distintos aspectos. Por tanto, solo fue posible analizar y llegar a conclusiones teniendo en cuenta cada criterio por separado y así determinar cuál de las estructuras es la más idónea en cada caso. Para este ejemplo los modelos que mejor se ajustan son los encerrados en rojo.

## VI. CONCLUSIONES

Mediante criterios de ajuste es posible determinar, de todos los modelos, cuales se adecuan más a la realidad del sistema o proceso.

Cada criterio es capaz de medir características específicas del modelo por lo cual no es correcto comparar los modelos a partir de diferentes criterios de bondad.

La interfaz confeccionada, sobre la plataforma que nos ofrece *MatLab*, ha mostrado la utilidad en la obtención de modelos, a partir de datos reales, con diferentes estructuras y ordenes determinando los valores de los criterios de bondad con lo que el especialista podrá seleccionar el que más se ajuste a sus requerimientos.

## REFERENCIAS

- [1] M. E. López, «Identificación de Sistemas». Aplicación al modelado de un motor de continua. 2000, Instituto Superior Politécnico «José Antonio Echevarría», Cuba.
- [2] J. Banks, J. S. Carson and B. L. Nelson, Verificación y Validación. 2002.
- [3] L. Ljung, System Identification Theory for the User. 2007: Prentice Hall.
- [4] J. F. Mikles, Process Modeling, Identification, and Control. 2007.
- [5] R. M. Demoyer Introducción a la Identificación de Sistemas Dinámicos. 2002.
- [6] C. Carballo, Interfaz gráfica para la identificación para la plataforma de 2 grados de libertad. 2011: PhD, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- [7] C. Kunusch, Identificación de Sistemas Dinámicos. 2003.
- [8] S. Posada, Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 2007.
- [9] J. Díaz, Introducción a la Identificación de Sistemas Dinámicos. 2005.
- [10] L. Ljung, System Identification Toolbox 7. User's Guide, The MathWorks, Inc. 2007.
- [11] K. Amstrom, ed. Computer Controlled Systems. Theory and Design. 1997, Prentice Hall.

