



## MODELADO EXPERIMENTAL DEL NIVEL DE UN TANQUE DE AGUA EN UNA PLANTA PILOTO

(Experimental level modeling of a water tank in a pilot plant)

Recibido: 28/09/2014 Aprobado: 28/10/2014

**Añez, Gilbert**

Universidad Del Zulia, Venezuela

[gilbertanez@gmail.com](mailto:gilbertanez@gmail.com)

**Scarano, María**

Universidad Del Zulia, Venezuela

[scaranomaria@gmail.com](mailto:scaranomaria@gmail.com)

### RESUMEN

En el siguiente estudio se propuso un modelado experimental de la planta piloto a través de técnicas de identificación de sistemas de manera paramétrica utilizando estructuras ARMAX, BJ, OE y ARX respectivamente debido a que la identificación actual de la planta piloto es deficiente aunado a fenómenos como no linealidades y zonas muertas dentro del proceso, lo que degradaría mucho más el sistema y este saldría de un control finito en estado estacionario, pasando a un estado transitorio y de manera permanente. Es por todo esto y dada la teoría de identificación de sistemas la cual en el área de la ingeniería de control, es un campo estadístico creado para establecer modelos matemáticos de sistemas dinámicos a partir de valores medidos. Con esta monografía de investigación se pretende resolver un problema de índole matemático para la variable nivel en un tanque de agua, al cual se brindará una mejor exactitud del modelo empleando las técnicas de identificación para ello y lograr así mejorar el grado de robustez del controlador instalado, así como también mejorar la dinámica del proceso ante perturbaciones haciéndolo más preciso ante las mismas.

**Palabras Claves:** identificación, control, modelado, sistema.

### ABSTRACT

In the following study an experimental modeling of the pilot plant is proposed through techniques of system identification parametrically using structures ARMAX, BJ, Oe and ARX respectively because the actual identification of the pilot plant is poor it joined to phenomena such as non-linearities and dead zones with in the process, which would degrade the system more and this would leave a finite steady state control, passing and a transient state permanently. For all this and given the theory of system identification which in the area of control engineering is a statistical field created to establish mathematical models of dynamic systems from measured values. This research paper aims to solve a mathematical nature for level variable in a water tank which better accuracy of the model using the techniques would provide identification for it and achieve better degree of robustness of the installed driver and as improve the process dynamics to shocks and more precise with them.



**Keywords:** identification, control, modeling, system.

## ASPECTOS INTRODUCTORIOS DEL PROBLEMA

Hoy en d a, los sistemas de control modernos en un contexto mundial constituyen un papel fundamental en el desarrollo de propuestas y soluciones a inconvenientes o problemas presentados en las aplicaciones domésticas e industriales. Aunque en la mayoría de los casos los principales aportes de los sistemas de control modernos se aplican a nivel industrial, contribuyendo en la búsqueda de soluciones integrales y con un continuo mejoramiento y desarrollo de propuestas en la aplicación de los tipos y los métodos de control, teniendo como premisa la innovación tecnológica, además, la rentabilidad y la mantenibilidad de los procesos a los cuales se controla.

Un problema tradicional en dichos procesos industriales, consiste en determinar de qué manera pueden diseñarse controladores que cumplan eficazmente la función de manipular una o varias variables.

Esto va en función del proceso matemático que pueda detectar a través de un sistema dinámico o est tico; en definitiva, que controle de manera eficaz cualquier variable que se presente dentro de cualquier sistema empleando una modelo que represente su estructura física en comunicación con el controlador de dicho proceso (Rueda, 2006).

Es por ello, que hoy en día la principal característica a evaluar de un sistema de control radica en el aporte tecnológico y el valor agregado que este introduce a la planta o equipo que se controla, además de la facilidad de integración del mismo a otros sistemas de supervisión y control, capaz de interactuar entre sí para intercambiar datos de procesos, y de esta manera facilitar la supervisión y el control del sistema desde cualquier punto remoto en un tiempo real (Méndez, 2006).

Bajo el mismo orden de ideas, es cada vez más necesario el uso y diseño de modelos matemáticos con mayor exactitud, sobre todo en las técnicas de control actuales. Sin embargo esa tarea no es sencilla, por el contrario resulta en un trabajo difícil y complejo, ya que se debe regir por las leyes que est n involucradas en cada uno de los procesos. En este sentido, la identificación de sistemas dinámicos proporciona una herramienta capaz de generar métodos que permiten de manera mucho más sencilla, establecer los modelos matemáticos con un adecuado nivel de exactitud.

Ahora bien, en la Universidad del Zulia (LUZ), específicamente en el Laboratorio de Control e Instrumentación de la Escuela de Ingeniería Mecánica, núcleo Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, existe una planta piloto para la medición y control de presión, flujo y nivel, que está equipada para desarrollar múltiples esquemas de control, así como también validación en tiempo real de técnicas de identificación de sistemas lineales y no lineales respectivamente.

Esta planta consta de un tanque, el cual recibe un flujo de agua proveniente de un recipiente, impulsado por una bomba a través de una red de tuberías. Esta acoplado a un circuito de tuberías por el cual fluye aire a presión; tres válvulas neumáticas las cuales se



manipulan para lograr el control; cuenta con medidores y transductores, tales como manómetros tipo bourdon, placa orificio y celdas de presión diferencial. Todos estos elementos constituyen el sistema de medición y control (Kuo, 1996).

La mayoría de los procesos industriales que requieren sistemas de control tienen un comportamiento no lineal, esto trae como consecuencia que los controladores lineales no presenten un buen funcionamiento a lo largo de todo su rango de trabajo.

Actualmente, la planta piloto cuenta con dificultades de control en la variable nivel bajo la acción del PID, debido a que esta arroja gran perturbación interna por la acción derivativa, ya que genera mucho ruido y desequilibrio al sistema de control.

Otro punto notable de falla en la actual planta piloto del laboratorio de control e instrumentación, viene referida a la presencia de retardos puros entre la señal de mando y la respuesta del sistema comúnmente llamados “tiempo muerto” (desfase en el tiempo). El tiempo muerto corresponde a un valor de aproximadamente 3.09 segundos (Ogata, 2000).

Generalmente, la presencia de perturbaciones y tiempos muertos dificulta enormemente el control de la planta, en respuesta a todos estos problemas localizados que fueron causados por la identificación deficiente del sistema, aunado a fenómenos como no linealidades y zonas muertas dentro del proceso.

Ahora bien, de no llegar a mejorar el modelo matemático existente en la planta, este se degradaría mucho más y esta saldría de un control finito en estado estacionario, pasando a un estado transitorio y de manera permanente. Es por todo esto y basada en la teoría de identificación de sistemas, la cual en el área de la ingeniería de control es un campo estadístico creado para establecer modelos matemáticos de sistemas dinámicos a partir de valores medidos, que no se lograría una eficiente identificación del sistema (Ljung, 1998).

La identificación de sistemas también abarca el diseño óptimo de los experimentos para generar eficientemente la información útil para aproximar dichos modelos hacia un modelo físico representativo, que posea una información adecuada para el control de sistemas.

Con esta monografía investigativa se pretende resolver un problema de índole matemático para la variable nivel en un tanque de agua, a la cual se brindará una mejor exactitud del modelo empleando las técnicas de identificación para ello y lograr así mejorar el grado de robustez del controlador instalado, así como también mejorar la dinámica del proceso ante perturbaciones haciéndolo más preciso ante las mismas.

## **OBJETIVO**

La idea de la investigación es lograr modelar experimentalmente la variable nivel, en una planta piloto, fundamentada en el estudio del comportamiento de dicha variable en la planta piloto. Para lograr lo anterior, se plantea una metodología experimental que permita obtener los datos de identificación del proceso de la planta, para posteriormente estimar un modelo matemático con el uso de las técnicas paramétricas de identificación de

sistemas y finalmente contrastar el modelo que se obtendrá con el modelo teórico que está establecido actualmente. Todo esto se realiza en el laboratorio de Controles e Instrumentación de la Universidad del Zulia.

## RESULTADOS OBTENIDOS

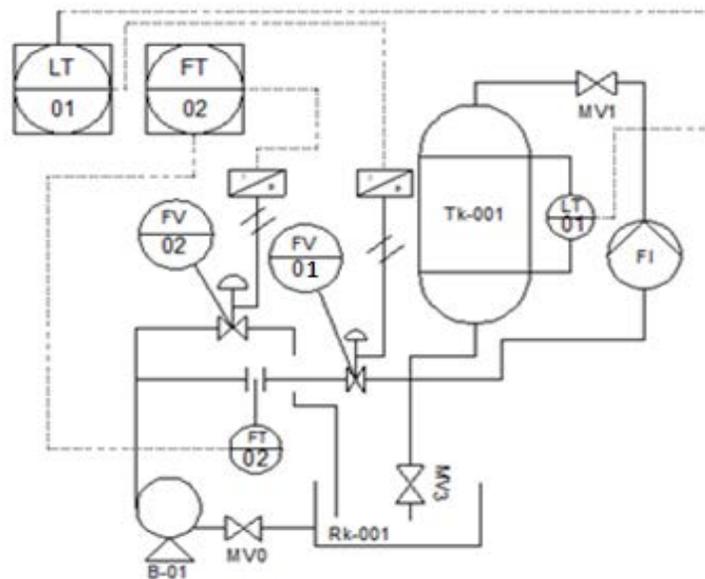
En esta fase se presentan, analizan y validan los resultados del modelo matemático obtenido mediante técnicas de identificación de sistemas de manera paramétrica utilizando estructuras ARMAX, BJ, OE y ARX respectivamente. La validación se realizará contra data real de proceso, así como también se validara con data de proceso.

## COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE NIVEL EN LA PLANTA PILOTO

En esta fase inicial del proyecto de investigación, la observación y el conocimiento del proceso fueron las técnicas para el estudio de variables que se puede encontrar en la planta piloto por lo que estas se consideran multivariadas puesto a que existen experimentaciones de diversas variables no solo nivel, también existe el flujo y la presión del mismo.

A continuación, se presenta un diagrama representativo basado en la normativa ISA 5.1, en donde se presentarán equipos como bombas, transmisores, registradores, convertidores y controladores que están establecidos para todos los lazos de control.

**Figura 1. Distribución actual de los equipos en la Planta Piloto**



**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 1. Cuadro de variables operativas en la planta piloto**

VARIABLES	Tipo de variable	Manipulada	Controlada (Salida)	ISA	Unidades
Nivel de agua en el tanque	Variable controlada	Posición de válvula 1-5V	Nivel por presión diferencial	FV1	(Cm)
Perturbación de nivel	Variable perturbada	Posición de válvula 1-5V	Nivel por presión diferencial	FV2	(inH <sub>2</sub> O)
Perturbación por presurización	Variable perturbada	Posición de válvula 0-5V	Nivel por presión puntual	FV3	(Psi)

**Fuente:** elaboración propia.

**Figura 2. Distribución actual de los instrumentos en la Planta Piloto**



**Fuente:** elaboración propia.

De la Figuras 1 y 2, respectivamente, se puede visualizar que el agua es succionada desde un reservorio para ser bombeada a través de todo el circuito.

Las válvulas VM1, VM2 y VM3 son válvulas manuales, mientras que la FV1 y FV2 son válvulas de control y perturbación de nivel respectivamente las cuales son accionadas neumáticamente por aire a una presión de 3-15psig y transmitidas a un panel de control por medio de una conversión a 4-20mA y luego 1-5V.

La medición de nivel se hace mediante un medidor de presión diferencial de nivel que registra un cambio de alta-baja presión y es transformado a nivel por medio de la conversión por la ecuación básica de la hidrostática a través de un medidor de tipo transmisor (LT) con un rango de 0 a 1000 pulgadas de agua, las cuales son estandarizadas a la salida en 4-20mA y mediante una conversión por Ley de Ohm llevadas a voltaje de 1-5V respectivamente.



La alimentaci3n de los transmisores se dará de manera eficiente con una fuente de poder a través de una salida simultánea de voltaje de 10 VDC. La comunicaci3n Válvula/Computador se realizará con la implementaci3n de convertidores I/P (4-20mA – 3-15Psi) para los cuales se necesitará un número de dos convertidores. Estos convertidores son alimentados con 20 Psig. La corriente de 4-20mA será convertida a 1-5V mediante un convertidor el cual posee un circuito de interface con la tarjeta de adquisici3n de datos NI-USB-6008 para la lectura eficiente de voltaje.

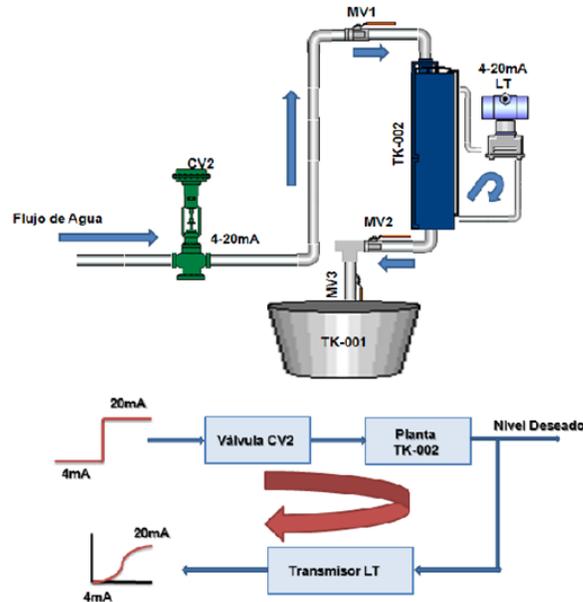
Finalmente, la comunicaci3n Bomba/Computador se realizará con la implementaci3n de un circuito integrado con un transistor, diodos, resistencia y un contactor con Relé de 5VDC a 120VAC para provocar un pulso de (1-5V), con lo cual el transistor permitirá el paso de corriente, protegida por una resistencia y un diodo para luego energizar el relé, cambiando con un pase a 120V, con lo cual el contactor se excitar  con un control ON/OFF donde encenderá o apagará automáticamente la bomba mediante las ordenes enviadas por el controlador virtual diseñado en el software Labview   y el computador.

La configuraci3n final de la Planta Piloto permite realizar ensayos de control multipunto (medici3n de variables de nivel y presi3n independiente), así como también realizar ensayos de medici3n de flujo de manera independiente.

### **FUNDAMENTAR LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA OBTENER LOS DATOS DE IDENTIFICACI3N DEL PROCESO DE LA PLANTA PILOTO DEL LABORATORIO DE CONTROLES E INSTRUMENTACI3N DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA**

La metodología experimental se realizará en tiempo real a través de la herramienta Labview   para el control de procesos. Esta se hará en lazo abierto como se muestra en la Figura 3, luego los datos serán registrados en la herramienta de Microsoft Office Excel, con la cual se analizarán y se pre-tratar  la data a identificar.

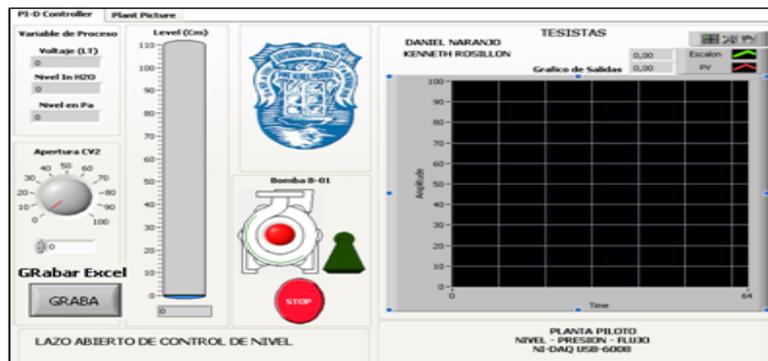
Figura 3. Metodología para proceso de recolección de data en tiempo real



Fuente: elaboración propia.

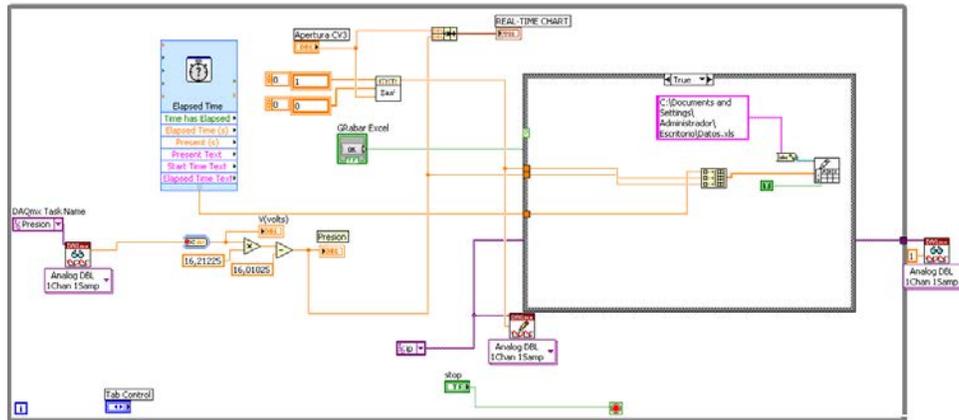
La identificación del sistema se realizará de manera experimental, para lo cual se trabajara en bucle abierto con la válvula de control CV2 y el transmisor de nivel (LT). Este nos proveerá la data correspondiente a la salida del escalón correspondiente a dicha entrada. Una vez analizada la data, se procederá a estimar dichos resultados a un modelo aproximado mediante la herramienta Ident de Matlab para poder realizar las distintas comparaciones de los resultados y validarlos experimentalmente como teóricamente hablando respectivamente.

Figura 4. Panel Frontal en Labview para la recolección de data en tiempo real de nivel en el tanque



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5. Diagrama de bloques en Labview para la recolección de data en tiempo real de nivel en el tanque**



Fuente: elaboración propia.

## ESTIMAR UN MODELO MATEMÁTICO EMPLEANDO TÉCNICAS PARAMÉTRICA DE IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS

Debemos comenzar el desarrollo de esta fase con el análisis de la data obtenida de la planta piloto; que se procesará con la herramienta computacional Matlab para generación del modelo experimental del proceso. A continuación, se plantea el cálculo del modelo matemático “teórico” del sistema de medición de nivel en la planta piloto.

### MODELADO MATEMÁTICO EXPERIMENTAL

Para iniciar la recolección de datos en tiempo real, es necesario puntualizar el tiempo de muestreo, ya que un tiempo muy corto de recolección implica mayor rapidez en la toma de datos y por ende la saturación del controlador.

Por el contrario, una mayor toma de tiempo significa retrasos en las mediciones, por lo que el controlador que hace vida en la planta piloto fue programado por métodos estadístico arrojando un tiempo de muestreo estándar para todas las mediciones de:

$$\text{Tiempo de muestreo} = 0.350s \approx 350ms$$

### IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES ACTUANTES EN LA PLANTA PILOTO

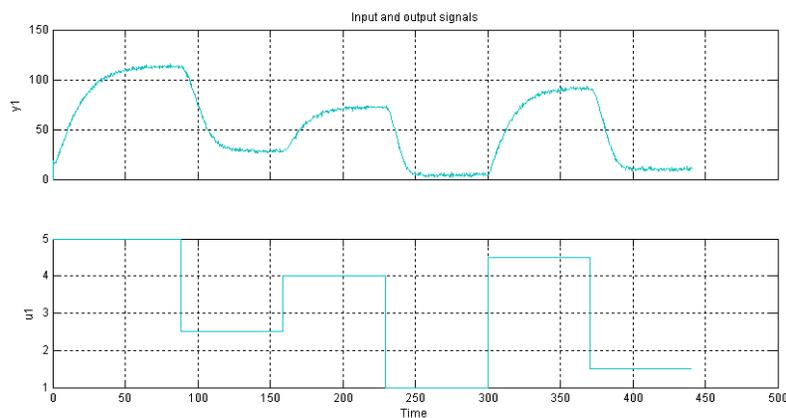
En este proceso intervienen distintas variables que se pueden clasificar en la entrada, la salida y perturbaciones.

El flujo de agua es la salida principal que descarga al reservorio de proceso, la cual es manipulada por el controlador a través de una válvula automática de control para la regulación de flujo (entrada). Es movilizada en un rango de 3-15psig respectivamente que

se transforman en voltaje de 1-5 V y estas a su vez en porcentaje de posición desde 0-100% respectivamente.

En la Figura 6 que se muestra a continuación se pueden observar la entrada-salida del sistema dado en unidades ingenieriles donde la primera curva representa la salida (galones por minuto GPM) y la segunda curva representa la entrada de voltaje (1-5V) transformada a presión 3-15psi.

**Figura 6. Relación entrada-salida del flujo del banco de pruebas para válvulas de control**



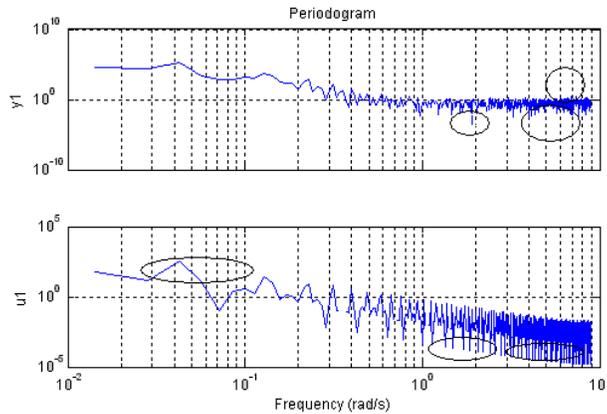
**Fuente:** elaboración propia.

### ANÁLISIS ESPECTRAL

Se muestra el análisis espectral con la finalidad de verificar el desuso de un filtrado de señales de alta frecuencia mediante el periodograma, con el cual se estudian las frecuencias de corte, respectivamente con la señal en tiempo discreto.

Se tiene la siguiente figura:

**Figura 7. Periodograma de frecuencias de la señal de salida-entrada del nivel**



**Fuente:** elaboración propia.

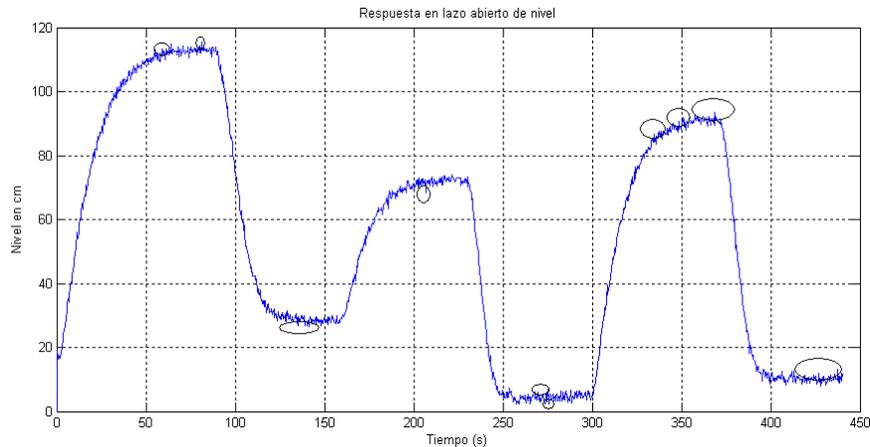
Ahora bien, como se observó en la figura anterior en la salida, la señal no posee picos de preocupación como para diseñar filtros especiales para esta ocasión, más sin embargo se trabajar  con un filtro suave, ya que tiene la propiedad de eliminar imperfecciones provenientes de proceso.

### **FILTRADO DE DATOS PARA LA MODELACIÓN EXPERIMENTAL**

Una de las etapas en la identificación de sistemas es el filtrado de las señales de entrada-salida.

Para este caso, la señal de entrada es un escalón unitario, definido para su rango y variando desde un voltaje de 1 a 5 respectivamente. Por otro lado, la salida se ve representada por el flujo de agua a descarga en el reservorio, que posee ciertas regularidades en su dinámica operacional. Estas se ven a continuación en la Figura 8:

**Figura 8. Irregularidades de salida del flujo del banco de pruebas para válvulas de control**



**Fuente:** elaboración propia.

En la Figura 8 se pueden observar los óvalos, que evidencian ciertas irregularidades denominadas ruido blanco o suave, producto de las señales parasitas o perturbaciones en la lectura de datos en la planta piloto.

Para eliminar estas irregularidades y brindar una data de salida de calidad es necesario aplicar un filtrado suave a la señal con el propósito de adecuar esta señal para la identificación de sistemas no lineales a través del identificador `ident®` de Matlab.

### FILTRADO SUAVE (SMOOTHING)

Se utilizará este filtro para suavizar (eliminar pequeños detalles antes de extraer objetos mayores, puente a pequeñas aberturas en líneas) y para reducción de ruido blanco.

**Figura 9. Caja de filtros y pesos promedios de data en un proceso**

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

**Fuente:** elaboración propia.

A la implementación general del filtro se aplicará la expresión:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)}$$

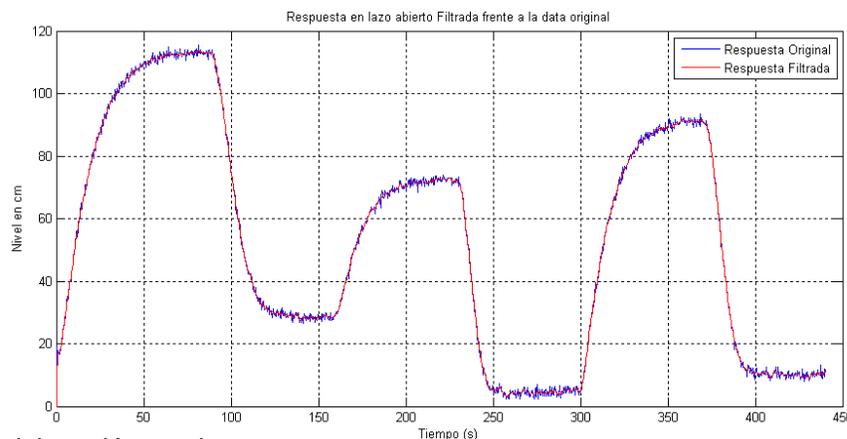
Donde el denominador es la suma de los coeficientes de la data y se utiliza como un factor de escala:

- El tamaño de la data utilizada será el que establezca el tamaño relativo de los objetos a “mezclar” o “emborronar” con el fondo.
- A mayor tamaño de data mayor tiempo de proceso y mayor error en los bordes de la misma.

En base a lo anteriormente dicho, y con el propósito de eliminar el ruido blanco, entonces aplicaremos el comando de Matlab ® “Smooth” para el cual eliminaríamos picos indeseados y valores fuera de rango (offline) que afectarían el desempeño en el proceso de identificación de sistema, y por ende en la calidad del modelo final.

Uniendo ambas gráficas para así comparar la eliminación de picos y ruidos blancos, así como valores fuera de línea, obtenemos que el filtro smooth o filtro suave es de suficiente calidad como para iniciar un proceso de identificación de sistemas y validar frente a la data real del mismo.

**Figura 10. Filtrado de datos**



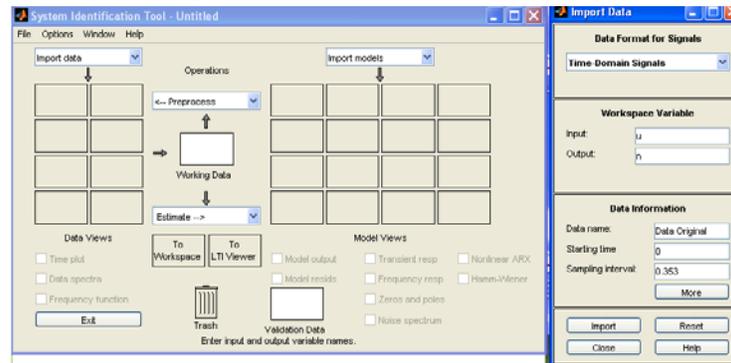
Fuente: elaboración propia.

### ELECCIÓN DE LA DATA DE MODELADO Y VALIDACIÓN RESPECTIVAMENTE

A continuación, se escogerán los datos representativos de modelado y validación respectivamente, con lo cual se buscará mediante métodos paramétricos un conjunto de funciones de transferencias (parámetros) y así validarla frente a la actual función de transferencia del sistema linealizado teórico.

Se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 11 los métodos utilizados y sus distintas funciones de transferencia, además de la data útil de modelado frente a la de validación respectivamente.

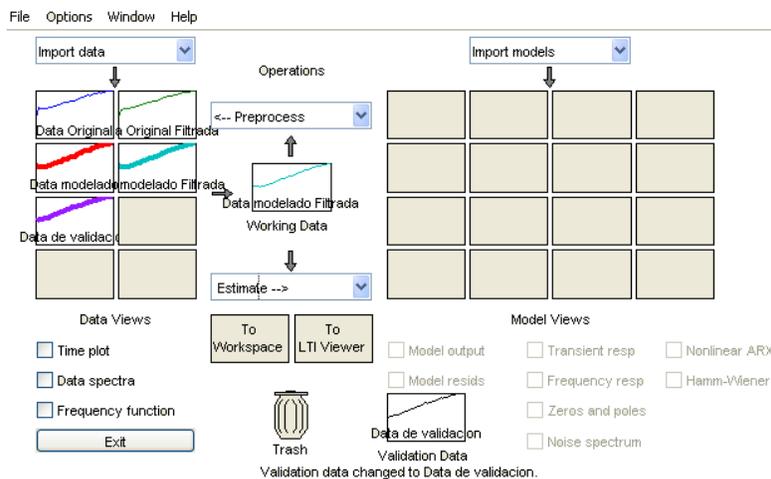
**Figura 11. Interfaz de Ident<sup>®</sup> de Matlab**



**Fuente:** elaboración propia.

Para iniciar la herramienta Ident<sup>®</sup> de identificación de sistemas, basta con llamar por el comando “ident” en el zona de comandos de Matlab<sup>®</sup>. Una vez que aparece la interfaz de la Figura 11 se procede a ingresar la data en el lado izquierdo superior (Import Data) y luego se selecciona Time DomainSignals, para añadir las distintas entradas y salidas del sistema a modelar.

**Figura 12. Interfaz de Ident<sup>®</sup> de Matlab con los modelos cargados**



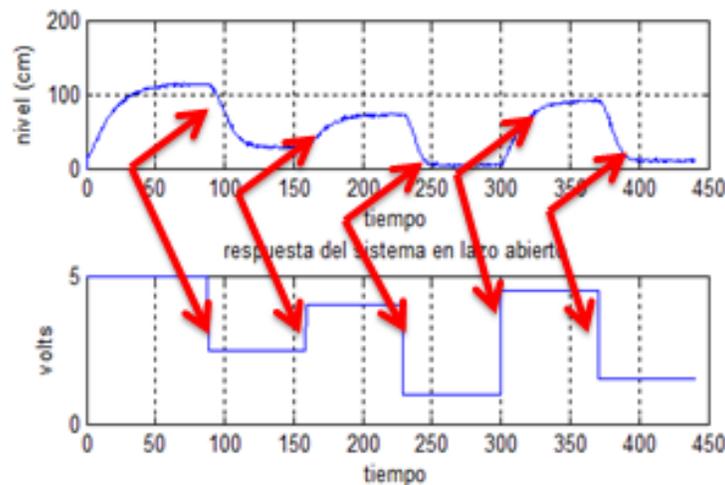
**Fuente:** elaboración propia.

## PERSISTENCIA DE EXCITACIÓN

La prueba de persistencia de excitación se le realiza al conjunto de datos entrada-salida del sistema con la finalidad de observar y determinar la calidad de los datos del modelo a predecir.

Esta se puede determinar con una serie de ecuaciones descrita por Ljung (1998), sin embargo, para el caso de estudio, se puede observar esto en la Figura 13, la cual nos muestra que a medida que la entrada se hace creciente la salida lo es en la misma proporción en diferentes sistemas de unidades.

**Figura 13. Persistencia de excitación**



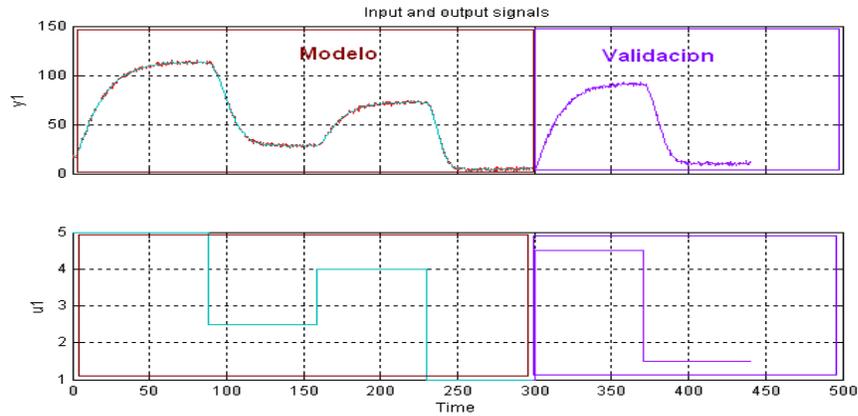
**Fuente:** elaboración propia.

## MODELADO DE LA DATA

Para el modelado de la data fue elegida, por falta de la misma, un 70% para su modelización, y el restante 30% para su validación. Esto garantizará que el conjunto de datos se identificarán de manera arbitraria, comparándolo con data fuera de proceso.

Este experimento se debería realizar frente a una data distinta para poder validar la robustez del modelo.

Figura 14. Datos de identificación y validación para las estructuras paramétricas

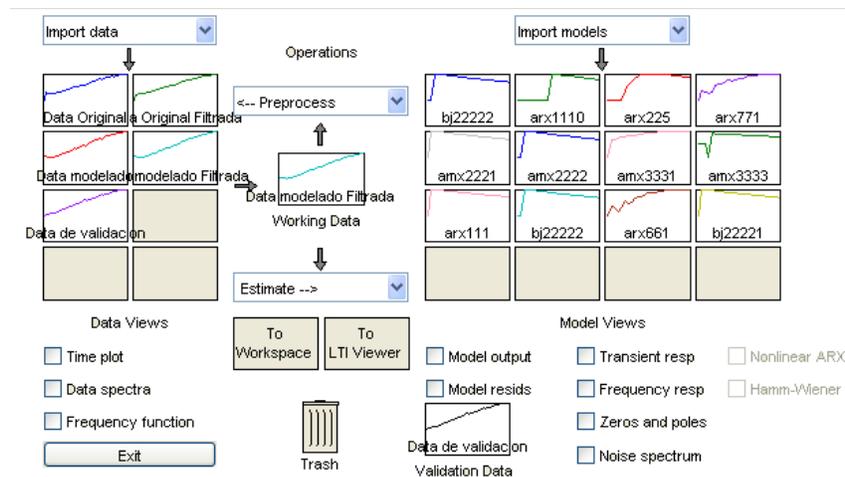


Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentará una tabla comparativa con el porcentaje de Fit o número de igualdad entre el modelo y su validación, con la finalidad de comprobar gráficamente su paridad cercana al modelo preestablecido y filtrado como dato de entrada en contraste con el modelo original como fuente de validación.

La validación se dio con el 30% de los datos del modelo original, lo que equivale un buen porcentaje para la misma, ya que se está identificando con el 70% respectivamente.

Figura 15. Ventana de modelos en Ident®



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2. Comparaci  n en % de acierto contra su validaci  n**

M��todo	Orden	% Ajuste (Fit)	Estabilidad	Residuos
ARX	111	40.97	SI	BIEN
	225	49.33	SI	BIEN
	661	59.59	SI	BIEN
	771	65.08	SI	BIEN
ARMAX	2222	85.12	SI	BIEN
	2221	84.6	SI	BIEN
	3333	83.2	SI	BIEN
BJ	22222	85.12	SI	BIEN
	22221	84.6	SI	BIEN
OE	225	83.21	SI	MAL
	336	86.47	SI	MAL

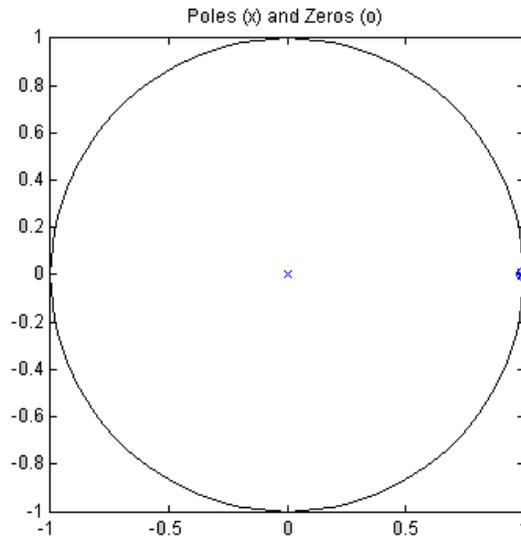
**Fuente:** elaboraci  n propia.

En funci  n de los resultados se elegir   el mejor modelo para obtener as   la funci  n de transferencia aproximada que describe el actual sistema, para ello bas  ndonos en la Tabla 3.

Entonces, se tiene que el modelo que se ajusta a los par  metros de identificaci  n y validaci  n es el modelo ARMAX 2222, que present   un resultado de correlaci  n y comparaci  n entre los rangos permitidos de acuerdo al modelo validado.

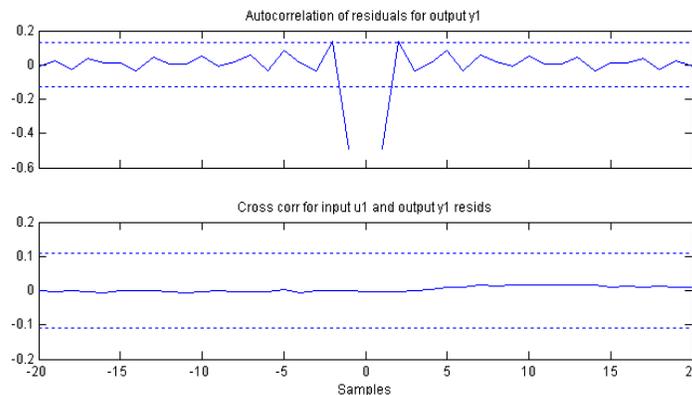
Para esto, el modelo obtenido obtuvo las siguientes gr  ficas de estabilidad (Figura 16) y correlaci  n de datos iterados entrada-salida para convertirse en candidata a ser la funci  n aproximada del modelo del tanque experimental.

**Figura 16. Mapa de polos y ceros de la estructura ARMAX 2222**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 17. Análisis Autocorrelacional de la estructura ARMAX 2222**



Fuente: elaboración propia.

Tal como se observan en las Figuras 16 y 17, respectivamente, el sistema gráficamente es estable, por lo que el mapa de polos y ceros indica los polos y ceros dentro del círculo unitario de estabilidad, aunado a un excelente análisis autocorrelacional, teniendo en cuenta que las muestras tomadas fueron representativas y con un rango de dispersión adecuado.



## REPRESENTACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN EL ESPACIO FRECUENCIAL

Siguiendo con la investigación descrita, es necesario conocer la dinámica de la planta para así poder validarla con el modelo teórico de la misma.

Se aplicará en la herramienta Matlab la serie de comandos mostrados en la siguiente tabla, la cual tendrá como objeto principal convertir un espacio discreto a uno continuo en frecuencia (Transformada de Laplace), este cuadro se muestra a continuación:

**Tabla 3. Comandos en Matlab para la transformación de modelos paramétrico se transferencia en ambos sistemas (Discretos y Continuos)**

Comando	Significado
<code>[num,den]=th2tf(amx2222);</code>	Extraer el modelo de ident@.
<code>Printsys(num,den,'z');</code>	Muestra en Pantalla la función de transferencia en tiempo discreto.
<code>Sys=tf(num,den,0.353)</code>	Evalúa la FT en el tiempo de muestreo.
<code>G=d2c(Sys,'tustin')</code>	Convertir de discreto a Frecuencia.

Fuente: Matworks (2014).

**Tabla 4. Comparación de las funciones de transferencia en ambos sistemas (Discretos y Continuos)**

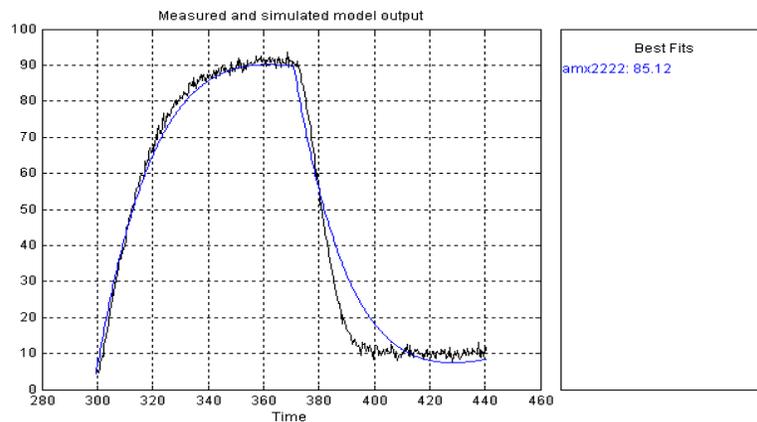
Método	Orden	Función de transferencia Discretizada (T=0.353s)
ARMAX	2222	$G_p(z) = \frac{0.53z - 0.5281}{z^3 - 1.98z^2 + 0.9797z}$
		<b>Función de transferencia en frecuencia</b>
		$G_p(z) = \frac{0.2672s^3 - 3.026s^2 + 8.549s + 0.08392}{s^3 + 5.724s^2 + 0.3297s + 0.004963}$

Fuente: elaboración propia.

## VALIDAR EL MODELO OBTENIDO FRENTE AL MODELO TEÓRICO ESTABLECIDO ACTUALMENTE

En este apartado, se presenta la gráfica obtenida de validación experimental del modelo ARMAX 2222, en la cual se observó la paridad del modelo arrojando datos de salida-entrada muy aproximados a la data de validación del mismo.

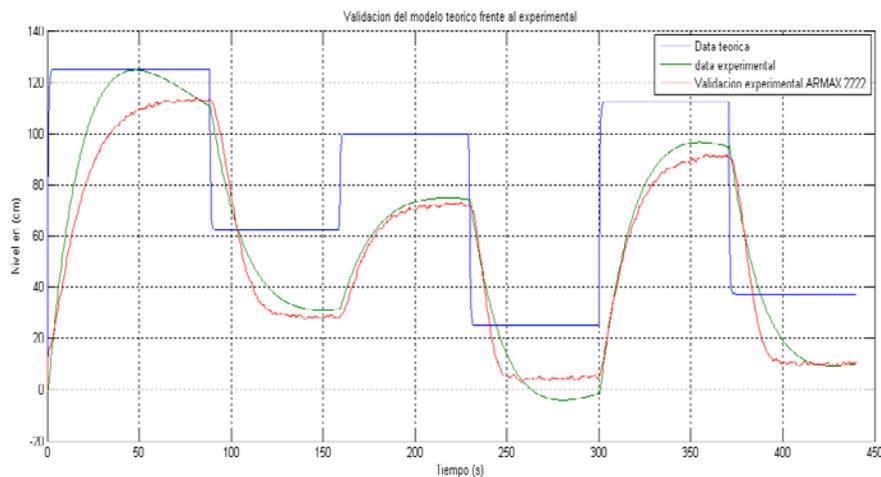
**Figura 18. Validación experimental del modelo ARX2222 Frente al 70% de datos de modelado**



**Fuente:** elaboración propia.

Ahora bien, para validar el modelo teórico, basta con comparar los resultados experimentales con los parámetros ya descritos en los incisos anteriores, es decir, acá utilizaremos la herramienta simulink para validar las funciones de transferencia respectiva y comprobar la robustez del modelo frente a data real de proceso.

**Figura 19. Validación del modelo teórico frente al experimental**



**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Basados en el primer objetivo, se logró describir la variable nivel en todo su recorrido por la planta, teniendo en cuenta que éste depende altamente del flujo de la válvula de control CV2.



Así mismo, se describieron las perturbaciones que actúan en el proceso con la finalidad de obtener un modelo preciso del nivel en el tanque.

Según la metodología utilizada para la recolección de datos, la herramienta utilizada fue Labview®, el cual es un poderoso software de control e identificación de sistemas que se transporta hacia la herramienta Excel de Microsoft, con el propósito de obtener los datos de entrada, salida y tiempo respectivamente.

En cuanto a la estimación del modelo, se manipularon experimentos de apertura y cierre de la válvula (histéresis) con la finalidad de obtener por varios ensayos el tiempo de muestreo de la misma por medio de un análisis estadístico. Según el procedimiento anterior se logró entonces determinar una caracterización a 353ms aproximadamente.

En ese mismo orden de ideas, se realizó la identificación con modelos ARX, ARMAX, OE y BJ logrando un ajuste para ARMAX 2222 de aproximadamente 85.12%, con una estabilización dentro de un circulo unitario con valores de tendencia de dispersión aceptable, estando entre los rangos de residuos.

Finalmente la validación se realizó frente al 30% de los datos de la planta, así como también se realizó frente a toda la data en general de modelización comparando así con el modelo teórico bajo la misma entrada de excitación del modelo logrando observar la robustez del modelo obtenido mediante la identificación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda una mejor descripción de variables externas al proceso, e incluir al proceso identificativo las perturbaciones generadas por la acción de conexiones de proceso externas a la línea como bypass, líneas de inyección de aire del sistema neumático, entre otras.

Por otra parte, se recomienda abordar la metodología experimental de manera más sencilla, utilizando registradores modernos comandados por transmisores de alta tecnología, entre otras.

Para la identificación del sistema se recomienda abordar la teoría de sistemas no lineales para optimizar el modelo del proceso y así lograr diseñar estrategias de control no lineales, en función de mejorar el estado estacionario de los procesos.

Finalmente, en cuanto a la validación, se recomienda que se valide con data diferente del proceso en estudio con la finalidad de mejorar la robustez del modelo identificado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kuo, B. (1996). Sistemas de control. España. Editorial Pearson Educación.

Ljung, L. (2008) System identification for user. México. Editorial Prentice Hall.

Ogata, K (2000). Sistemas de control clásico – Moderno. México. Editorial Mc Graw-Hill.



Rueda, A. (2006). Sistemas de control en tiempo. Venezuela. Facultad de Ciencias, LUZ.