

Identificación y diseño del controlador para un sistema regulador de presión en una planta de refrigeración.

Ormeño E.⁽¹⁾, Vivert M.⁽¹⁾, Martin C.⁽²⁾

⁽¹⁾Miembro del Tópico previa la obtención del Título de Ingeniería en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial

⁽²⁾ Director de Tesis, profesor de la ESPOL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Prosperina, Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

{ormeño,mvivert }@fiec.espol.edu.ec

Resumen

El presente proyecto de graduación tiene como objetivo primordial definir un modelo matemático mediante el método de identificación de sistemas para un sistema de refrigeración, debido a la no linealidad y dificultad de hallar ecuaciones para estos sistemas, se plateo este proyecto de graduación. En este proyecto primero se procedió a implementar un mini sistema de refrigeración industrial y una vez armado se procedió a tomar pruebas experimentales mediante varias señales de entrada, luego con las señales de salida se procedió mediante matlab a la identificación del proceso, inicialmente con modelos no paramétricos como el análisis de correlación y luego se procedió con métodos paramétricos como el modelo ARMAX, ARIMA, Output Error, una vez realizado todos estos modelos se procedió a la validación de los modelos y revisar cual de todos cumplía mejor con las especificación de un modelo valido y en base al modelo seleccionado se procedió a construir un controlador para el sistema.

Palabras claves: sistema de refrigeración, Identificación de sistemas, modelo matemático, controlador, modelos paramétricos y no paramétricos.

This graduation project has how a main idea to define a mathematics object by system identification method for a cooling system because the non linearity and the hardness of make equations of this kind of systems we choose this graduation project. First we proceeded to make a mini industrial cooling system and when the system was made we started to do experimental probes with many kinds of input signals, then with the output signals , in matlab, we began the identification process, at the beginning with no parametric models like the correlation analysis and then with the parametric models likes ARMAX model, ARIMA model, Output Error model, then when all of this models were done we started to validate the models and look which of this models meet whit all of the expectation of a well model, and then with the selected model we made a controller for this system.

1 Introducción:

Este proyecto tiene como objetivo dar a conocer la técnica de identificación de sistemas como una herramienta valiosa para el modelamiento matemáticos y control de procesos.

Para realizar dicho objetivo se implementará un sistema frigorífico y se realizara la identificación del modelo sin la ayuda de ecuaciones extraídas de la física del sistema, una vez hecho la identificación se procederá al diseño de un controlador.

Se escogió un sistema frigorífico debido a la complejidad de las ecuaciones que la gobiernan, ya que con ecuaciones complejas resultaría más fácil realizar pruebas para aver el modelo matemático.

2 Fundamentos teóricos

2.2 Ecuaciones básicas

Para el diseño de la planta y el entendimiento de la misma se tomo pilares fundamentales las ecuaciones de transferencia de calor, primera y 2da ley de la termodinámica y teoría de gases.

2.3 Proceso de refrigeración:

El compresor bombea liquido refrigerante hacia el condensador, el liquido sale a alta presión y alta temperatura, en el condensador su temperatura baja a temperatura ambiente, luego entra al filtro donde se le quita cualquier impureza, luego el liquido refrigerante entra a la válvula de expansión donde su presión baja súbitamente , lo que provoca una baja de

temperatura del refrigerante, este pasa a estado de gas donde pasa por el evaporador absorbiendo el calor latente de todo lo que se encuentre en la cámara, luego el liquido entra a un tanque de succión donde en un supuesto caso que hubiese subenfriamiento y el fluido siga como liquido , este se precipita en el tanque y solo el gas asciende para la entrada del compresor donde el ciclo empieza de nuevo.

Nuestro control se da justo antes de la expansión donde una válvula solenoide se abre y se cierra mediante una entrada de ancho de pulso modulada, lo que producirá la mayor o menor estrangulación del liquido en la succión.

2.4 Identificación:

Para la parte de identificación se usaran la transformada de laplace, transformada Z.

Item no.	$f(t)$	$F(s)$
1.	$\delta(t)$	1
2.	$u(t)$	$\frac{1}{s}$
3.	$tu(t)$	$\frac{1}{s^2}$
4.	$t^n u(t)$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
5.	$e^{-at}u(t)$	$\frac{1}{s+a}$
6.	$\sin \omega t u(t)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
7.	$\cos \omega t u(t)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] z^{-n}$$

	Theorem	Name
1.	$z\{af(t)\} = aF(z)$	Linearity theorem
2.	$z\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(z) + F_2(z)$	Linearity theorem
3.	$z\{e^{-at}f(t)\} = F(e^{aT}z)$	Complex differentiation
4.	$z\{f(t - nT)\} = z^{-n}F(z)$	Real translation
5.	$z\{tf(t)\} = -Tz \frac{dF(z)}{dz}$	Complex differentiation
6.	$f(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} F(z)$	Initial value theorem
7.	$f(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})F(z)$	Final value theorem

Note: kT may be substituted for t in the table.

Además se usara bastante la teoría de identificación de sistemas que se divide en 2 grandes grupos que son la identificación no paramétrica como el análisis de respuesta transiente, análisis de correlación, análisis residual y la identificación paramétrica como el modelo ARMAX, ARIMA, Output Error, Box-Jenkins.

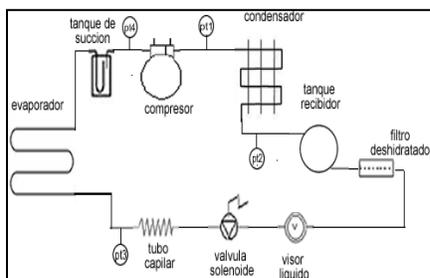
Ecuación del modelamiento paramétrico

3 Diseño de la solución

3.1 Diseño de la planta

Un sistema frigorífico consta de las siguientes partes:

- ✓ Compresor
- ✓ Tanque recibidor de liquido
- ✓ Condensador
- ✓ Filtro
- ✓ Válvula solenoide
- ✓ Tubo capilar
- ✓ Evaporador
- ✓ Tanque de succión



Para el diseño de la planta se partió de un tanque como camisa exterior, una temperatura mínima de -12°C

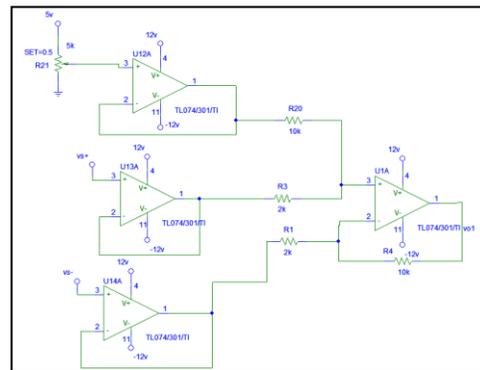
En base a esto se diseño la camisa interna.

Luego basados en esto y en las ecuaciones de gases se dimensiono el compresor que fue un compresor de 1/3 Hp , basados en el condensador se dimensiono el condensador, para el condensador se solicito un condensador forzado ya que estos presentan un ventilador que ayuda a la condensación del liquido refrigerante, luego se dimensiono los demás elementos como válvula de expansión y válvula solenoide.

Para el dimensionamiento del evaporador se volvieron a tomar como bases las ecuaciones de transferencia de calor, y las camisas de las cámaras además se fijaron perdidas mínimas posibles y el material aislante entre camisa q es polipropileno.

La instrumentación del sistema consta de 5 sensores de temperatura de los cuales 4 son para monitorear el funcionamiento de la planta, junto a cada sensor de temperatura se encuentra un manómetro para monitorear presión y temperatura. Los puntos donde se colocaron los sensores son la descarga, la condensación, la expansión y la succión.

El otro sensor de temperatura se lo coloco en la mitad de la cámara para sensar la temperatura en ella, esta es la variable de salida de la planta. La temperatura entra a una tarjeta donde es amplificada, acondicionada y enviada a un microcontrolador donde este hace la conversión para la visualización en los displays. El microcontrolador además de realizar esto realiza la conversión de voltaje a PWM para la abertura y cerrado de la válvula solenoide.



Multisine Design & Analysis Table

General Signal Specs

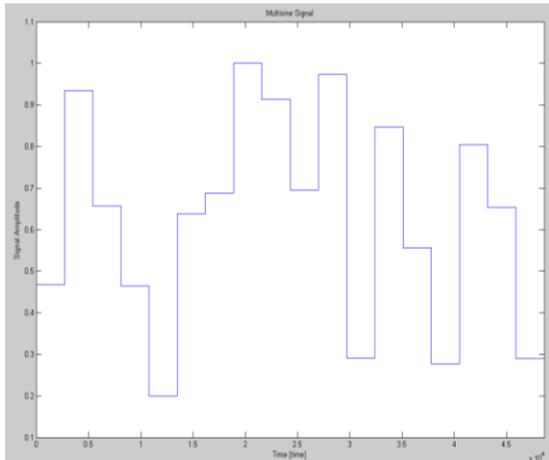
Sampling Time	2700.000000
Initial Deadtime	0.000000
Final Deadtime	0.000000
Signal Amplitude	0.400000
Signal Bias	0.600000

Guideline Information

Hi Freq. Decision Alpha	2.000000
Lo Freq. Decision Beta	3.000000
Lo Estimate of Dominant Time Constant	2000.000000
Hi Estimate of Dominant Time Constant	2300.000000
User limit on number of sinusoids	7.000000
Maximum Allowable Sampling Time	3141.592654
Low Frequency Design Limit [rad/time]	0.000145
High Frequency Design Limit [rad/time]	0.001000
Limit on the number of sinusoids	9.000000
Limit on sequence length	18.000000

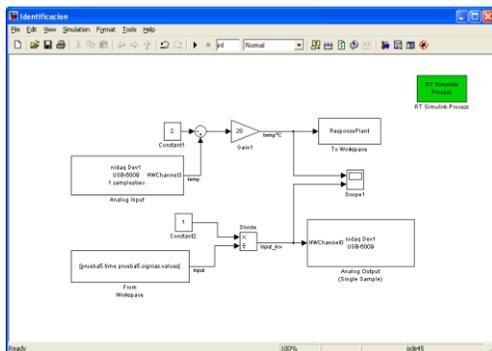
Signal Design

Sampling Time	2700.000000
Number of Cycles	1.000000
Number of Sinusoids	9.000000
Sequence Length	18.000000

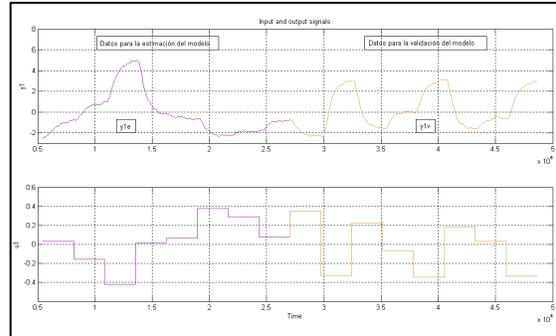


4 Identificación de la planta:

Una vez que se culmina el diseño de la señal de entradas realizo un pequeño proceso en simulink para ver la reacción del proceso acorde a la señal de entrada.



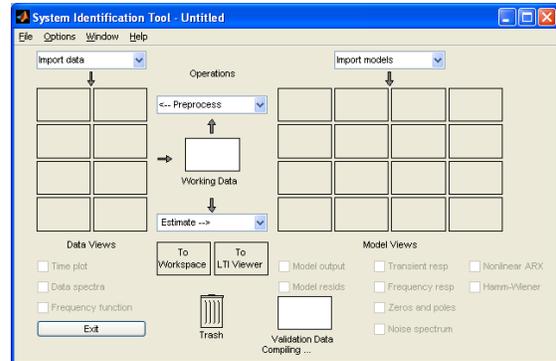
La respuesta del sistema es filtrada mediante debido a q la adquisición presenta un exceso de rizos que son ajenas al sistema. La señal de salida se presenta a continuación.



A la séanlas de salida se le recorto la parte del arranque ya que esta no corresponde al análisis, además se procede a dividir la respuesta en 2 partes donde una es para identificación y la otra para validación.

Una vez culminada la prueba usamos para el proceso de identificación la librería IDENT de MATLAB.

Se empiezan haciendo el análisis no paramétricos como el análisis transiente y de correlación.



Luego del análisis de correlación, se procede a hacer el análisis paramétrico ce la planta. Se hicieron varias pruebas con cada modelo. A continuación se presentan los las mejores pruebas de cada modelo.

Modelo ARX

Nombre del Modelo	Aprox
arx1023	76.11%

Modelo ARMAX

Nombre del Modelo	Aprox
armax7652	85.48%

Modelo Output Error

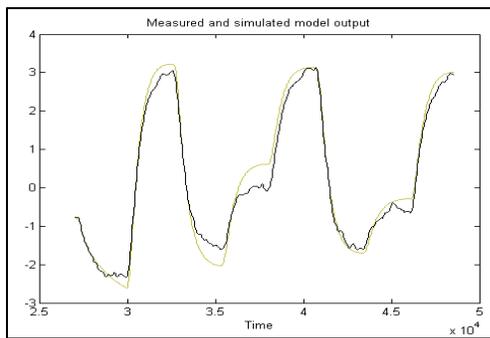
Nombre del Modelo	Aprox
oe432	80.81%

Modelo Bob Jenkins

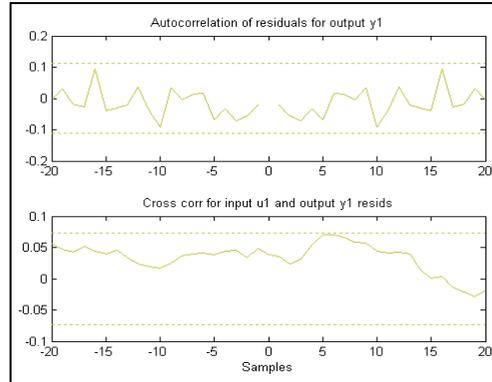
Nombre del Modelo	Aprox
bj42323	80.07%

De todos estos modelos se analizaron los análisis residuales, análisis transiente y el porcentaje de error de cada uno y se tiene que el mejor resultado es el modelo ARMX7652. A continuación se presentan los resultados.

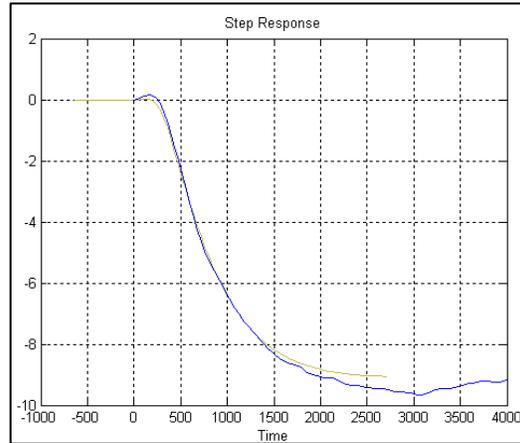
Prueba de validación



Análisis residual



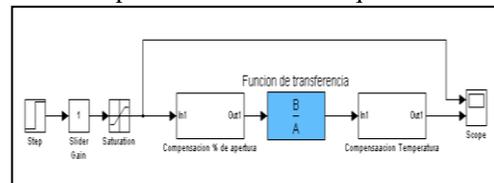
Análisis transiente

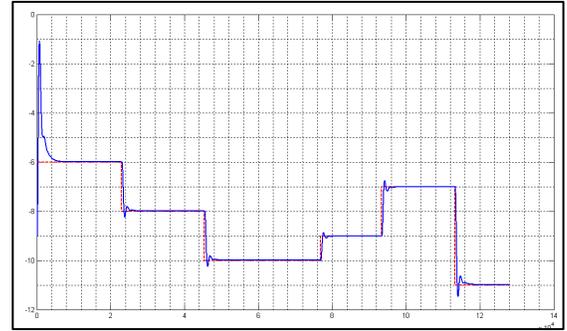
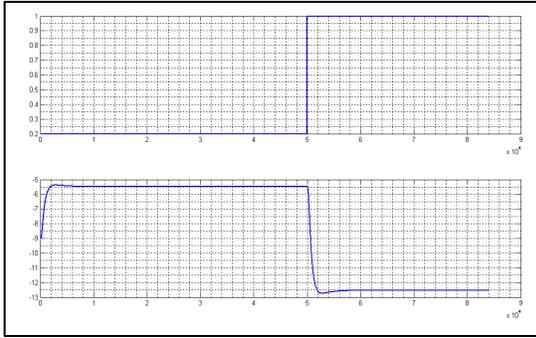


Una vez tenido en claro el modelo a utilizar se procede a extraer la ecuación.

$$\frac{y_s}{U_s} = \frac{-1.256 \times 10^{-4} s^6 + 1.75 \times 10^{-6} s^5 + 1.419 \times 10^{-7} s^4 - 2.5 \times 10^{-8} s^3 + 2.812 \times 10^{-9} s^2 - 6.918 \times 10^{-11} s - 0.238 \times 10^{-14}}{s^7 + 0.0676 s^6 + 4.869 \times 10^{-3} s^5 + 1.096 \times 10^{-4} s^4 + 1.37 \times 10^{-6} s^3 + 6.695 \times 10^{-9} s^2 + 1.029 \times 10^{-11} s + 3.677 \times 10^{-15}}$$

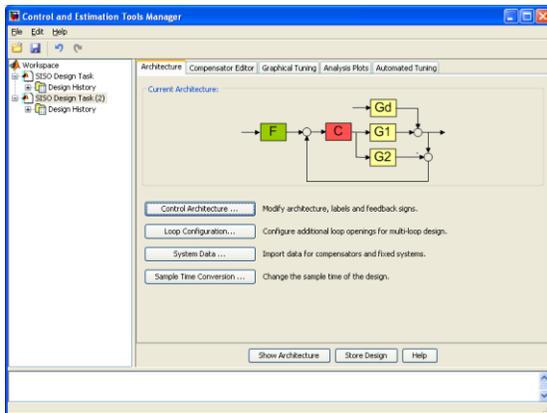
Haciendo la prueba de simulación queda:





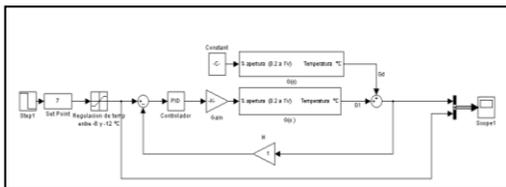
5 Diseño del controlador:

Una vez obtenido el modelo de la planta se procede a diseñar el controlador. Para proceder a cerrar el lazo se tienen que hacer que la variable de entrada sea del mismo tipo que de temperatura, como la variable de entrada es porcentaje de apertura se procede a acondicionar la señal. Luego se procede a determinar las constantes del controlador PID, esto se lo hace mediante siso tool.

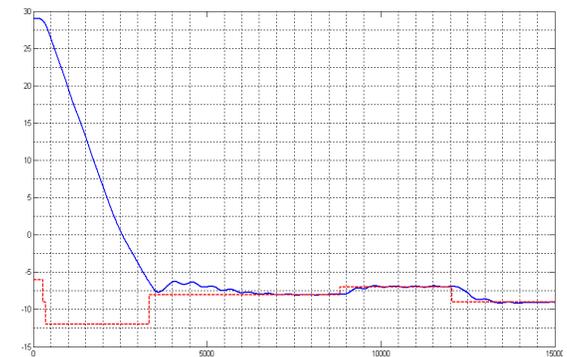
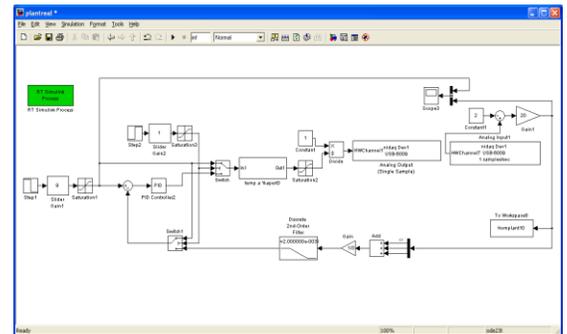


Quedando nuestras constantes:

Ahora se procede a ver la simulación del lazo cerrado.



Y luego a ver el resultado experimental



Como se puede apreciar en ambos casos la señal de respuesta persigue de forma efectiva a la señal de entrada, en la prueba experimental esto tarda un momento debido a que la experimentación empieza a temperatura ambiente y no en 0.

6 Conclusiones:

- Para la validación del modelo matemático determinado se usaron datos de pruebas con la planta real, los que demostraron que proceso de identificación fue realizado con éxito.
- El diseño de un adecuado controlador en un sistema industrial real, es de fundamental importancia, ya que de él depende un correcto y eficiente funcionamiento del sistema.

7 Recomendaciones:

- No solo evaluar el porcentaje de error, sino también el análisis residual y la respuesta al paso, ya que puede que no concuerden muy bien estos valores y esto puede provocar varias anomalías cuando se proceda a diseñar el controlador
- Seleccionar la variable de control que sea más lineal posible sino es el caso, intentar por medio del ordenador linealizarla

Referencias:

- [1] Jose Alarcón Creus, “Tratado Práctico de Refrigeración Automática”, Marcombo, 1998.
- [2] Edward g. Pita, “Principios y Sistemas de Refrigeración”, Limusa, 2005.
- [3] REOCITIES,”Respuesta transitoria”, <http://reocities.com/Area51/starship/6611/cap4.pdf>, Fecha de consulta: 28-Dic.-2010.
- [4] Lennart Ljung, “System Identification: Theory for the User”, Prentice-Hall, 1999.
- [5] L. A. Zadeh, “From circuit theory to system theory”, In Proc. IRE 50, pages 856–865, 1962.
- [6] T. Söderstrom and p. Stoica, “System Identification”, Prentice Hall, 1989.
- [7] Santiago Garrido, “Identificación, Estimación y Control de Sistemas No-lineales mediante RGO”, Universidad Carlos III, 1999.
- [8] Dr. Juan Carlos Gomes, “ISIS Identificación de Sistemas”, <http://www.fceia.unr.edu.ar/isis/>, Fecha de consulta: 14-Feb-2011.
- [9] YoReparo, “Dimensionamiento de Tubos Capilares”, www.yoreparo.com, Fecha de consulta: 15-Feb-2011.
- [10] Lennart Ljung & Torkled Glad, “Modeling of dynamic system”, Prentice-Hall, 1994.