

**Universidad de Concepción**

**Facultad de Ingeniería**

Departamento de Ingeniería Química

**CONTROL PREDICTIVO NO LINEAL  
MEDIANTE REDES NEURONALES**

Tesis presentada a la

**ESCUELA DE GRADUADOS  
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**

Por

**Cristian Fabián Garrido Cisterna**

Para optar al grado de

**MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA**

Profesores Patrocinantes:

Diógenes Melo L.

Edgardo Canales R.

Profesor Comisión:

Daniel Sbarbaro H.

Revisión 1, abril de 2005.  
Barrio Universitario, Concepción

# SUMARIO

---

La Tesis de Magíster “Control Predictivo No Lineal Mediante Redes Neuronales” junto con revisar el estado del arte de las redes neuronales aplicadas al control de procesos químicos, describir la teoría de redes neuronales artificiales aplicadas a la identificación y control de procesos, desarrolla una aplicación experimental en un equipo piloto de un sistema de identificación y control en línea mediante redes neuronales, para el estanque calefactor ubicado en el Laboratorio Alfredo Searle W. del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Concepción.

Se desarrolló una interfaz gráfica con el usuario que permite la identificación y control del estanque calefactor; se programaron los sistemas de identificación en línea mediante redes neuronales y los controladores NLIMC y MPC mediante redes neuronales. Para simplificar la determinación tanto de parámetros de las redes neuronales (número de neuronas en la capa oculta y cantidad de valores pasados de las variables de entrada a la red) como de los parámetros del controlador MPC ( $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_u$ ) se empleó información del modelo del proceso. También se utilizó el modelo del proceso para dar validez estadística a los parámetros seleccionados y para determinar las series de cambios escalones que permitieran el normal funcionamiento del estanque calefactor, evitando rebalses por su llenado y cavitación de la bomba por encontrarse vacío, durante la fase de entrenamiento y prueba de los modelos neuronales del proceso. Las pruebas realizadas que se presentan en el Anexo C y Anexo D indican que el número óptimo de neuronas en una única capa oculta es 10 neuronas tanto para la red prealimentada como para la red recurrente. También indican que el número óptimo de valores pasados de cada variables de entrada a la red prealimentada es 4, mientras que el número óptimo de valores pasados de cada variables de entrada a la red recurrente es 2.

Como resultado del proceso de identificación en línea se obtiene que el error cuadrático medio de la red prealimentada (S.S.E. =0,9440) es menor al error cuadrático medio de la red recurrente (S.SE.= 1,1520). También se obtiene que la identificación en línea de la temperatura esta menos afecta a error que la identificación en línea del nivel, pese a que ambas variables se identificaron al mismo tiempo y en ambos casos se utilizó la información escalada

al rango  $[-1, +1]$ . El menor desempeño general se presentó durante el uso de la red recurrente en la identificación de la variable de nivel.

Como resultado de las pruebas de control, en general, se puede decir que, tanto para los cambios en las referencias como para cambios en la perturbación, sean cambios escalones positivos o negativos, se obtuvo el mejor desempeño utilizando el controlador MPC con la red prealimentada FFNN. Con respecto a la respuesta de las válvulas de control de vapor VC-2 y descarga VC-3 se puede decir que, el único caso en que los dos controladores y las dos redes neuronales presentaron saturaciones, fue en los cambios de referencia de nivel. Por otro lado, no se presentaron saturaciones en las respuestas de los controladores de temperatura frente a cambios escalones en el nivel o en el flujo de alimentación. Esto se debe principalmente porque la respuesta dinámica del nivel es más rápida que la de la temperatura. Finalmente, se presentaron saturaciones sólo del controlador NLIMC para los cambios escalones en la referencia de la temperatura y para la repuesta de la temperatura frente a los cambios escalones en el flujo de alimentación.

En general se puede decir que las redes neuronales artificiales, ya sean prealimentadas o realimentadas, son una alternativa viable para desarrollar identificación y control de procesos, en especial en los casos en los que es difícil modelar un proceso para obtener los parámetros de los controladores clásicos, siempre y cuando se disponga de información abundante y de buena calidad.

A modo de verificar el desempeño real de esquemas de control que se implementaron se recomienda agregar variantes al mismo sistema como por ejemplo una resistencia eléctrica que permita calentar la alimentación de manera controlada y/o una recirculación de la corriente de salida del estanque a su alimentación. O bien, probarlo en otros equipos disponibles en el laboratorio, que cuenten con la instrumentación necesaria para disponer de información confiable para entrenar las redes neuronales.