

# Diseño y desarrollo de sistemas de control avanzado basados en DCS y SIS con implementación de prácticas de laboratorios en Planta Piloto soportado en la plataforma DELTA V.

## Investigación en Curso Universidad Autónoma de Bucaramanga

Katherin Gutierrez Avila  
Universidad Autónoma de Bucaramanga,  
Semillero de Instrumentación & Control  
Bucaramanga, Colombia.  
E-mail: [kgutierrez@unab.edu.co](mailto:kgutierrez@unab.edu.co)

Antonio Faustino Muñoz Moner  
Universidad Autónoma de Bucaramanga,  
Profesor Tutor  
Bucaramanga, Colombia.  
E-mail: [amunoz@unab.edu.co](mailto:amunoz@unab.edu.co)

### RESUMEN

En el proyecto presentado se pretende realizar el diseño y desarrollo de Sistemas de Control Distribuido\_ DCS y Sistemas Instrumentados de Seguridad SIS como parte de las investigaciones para la implementación de estrategias de control avanzado basado en el sistema DELTA V de la firma Emerson Process Management adquirido por la UNAB e instalado en la Planta Piloto. El control, la instrumentación y la automatización de los procesos de transferencia de calor y de generación de vapor corresponden a las plantas objeto de aplicación de los sistemas DELTA V, los programas de Ingeniería en Energía e Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías Físicomecánicas de la UNAB requieren de explotar las capacidades instaladas con proyectos de investigación que permitan la experimentación y estudio de nuevas estrategias de control avanzado tales como Control Adaptativo\_Predictivo, Control Inteligente, Control Robusto, Control Óptimo, Control No lineal, objeto de estudio además en el postgrado con la Especialización en Automatización Industrial y el impacto en los nuevos proyectos como el Proyecto Doctorado en Ingeniería Red Mutis, Proyecto de Maestría en Ingeniería extendiéndose a los postgrados de la Facultad de Ingeniería de Sistemas.

El Control Industrial y la Automatización de procesos aparecen referidos en las competencias de los programas mencionados anteriormente y en especial en metodología de diseño de Ingeniería Mecatrónica, es así como la Planta Piloto integrada con el laboratorio de Automatización Industrial cuenta con equipos e instrumentación de última generación se encuentran en la fase de pruebas y no ha sido implementados aún para la formación en los programas de ingeniería, es importante que como parte de este proyecto de investigación se diseñan nuevas prácticas de laboratorios que abarcan los campos de acción en las áreas de control avanzado previstos en el perfil profesional de las carreras arriba referidas y brindar a los estudiantes de últimos semestres las habilidades de laboratorio que apoyen la formación en asignaturas del plan de estudios como Control Avanzado para mecánicos, Instrumentación y Control para la carrera de ingeniería en Energía, Instrumentación Industrial para la Especialización en Automatización Industrial entre otros.

### ABSTRACT

The present work involves the research and development of a new methodology for design of prototypes based on stem cell patterns and artificial cloning, applied to an Pilot Plant processes of manufacturing. the applied methodology of artificial cloning arises as an alternative for the development of measurement and advanced control equipment,

that allow a correct response to the modern industry requirement through functional replicas of sensors, controllers and actuators based on artificial intelligence techniques, apply them methods and procedures of artificial cloning and evolutionary computing.

The methodology of patterns based design of stem cell and artificial cloning, let to replicate functions through an imitation reproduced for generations of “chromosomes” - configurations of initial population – information about equipment development functions, installation process, ordered according to multiobjective functions, with genetic operators – tools that let to modify the composition of the new chromosome generated by the fathers (initial population), during the reproduction and includes: mutation (generation of new information on a system), crossing (exchange of information between two systems), inversion (exchange of information inside a system) among others. with the model of genetic algorithm for artificial cloning is possible to have the basic structures for design based on patterns of stem cell for detection and diagnosis of failure, as solution for the implementation of evolving nature systems, like observers, adaptive controllers based on advanced techniques of industrial data processing: real time and distributed systems.

Área de Conocimiento

Ingenierías,

keywords: stem cell patterns and artificial cloning, genetic algorithm, functional replica, Matlab.

### OBJETIVOS

Diseñar y desarrollar sistemas de control avanzado por metodología de replicación funcional basados en DCS y SIS con implementación de prácticas de laboratorios en Planta Piloto soportado en la plataforma DELTA V.

### INTRODUCTION

En la actualidad los procesos de automatización industrial utilizan diversos dispositivos de alta precisión, los cuales, debido a sus características, son de un alto costo, valor que en la mayoría de veces se ve incrementado por la dificultad de adquirir dichos dispositivos en el mercado tecnológico nacional, esto sin duda alguna, inhibe el desarrollo de las empresas colombianas, marginándolas de producciones más rentables, algunos de estos dispositivos tecnológicos de gran demanda por parte de la industria nacional son los controladores y sensores para procesos industrializados, estos elementos son la columna vertebral para todos los procesos de automatización, por lo que una reducción en el costo final de los mismos, se ve reflejada en la viabilidad económica de dicha automatización. Una de las vías para llegar a esta reducción de costos

es la clonación artificial de los dispositivos mencionados, por métodos y procedimientos que logran replicar las funciones de los controladores y sensores, estos aplican operadores genéticos que involucran técnicas avanzadas de ia, lo que evita la violación de derechos intelectuales de los sensores y controladores.

METODOLOGÍA DE CLONACIÓN ARTIFICIAL EN INGENIERÍA.

La clonación artificial nace en la ingeniería como una alternativa para el desarrollo de medios y sistemas de control avanzado, que permitan responder a las exigencias de la industria, a través de replicas funcionales de sensores, controladores y actuadores basados en técnicas de inteligencia artificial soportados en sistemas avanzados de clonación artificial y software evolutivo. Esta metodología se presenta en la figura 1.

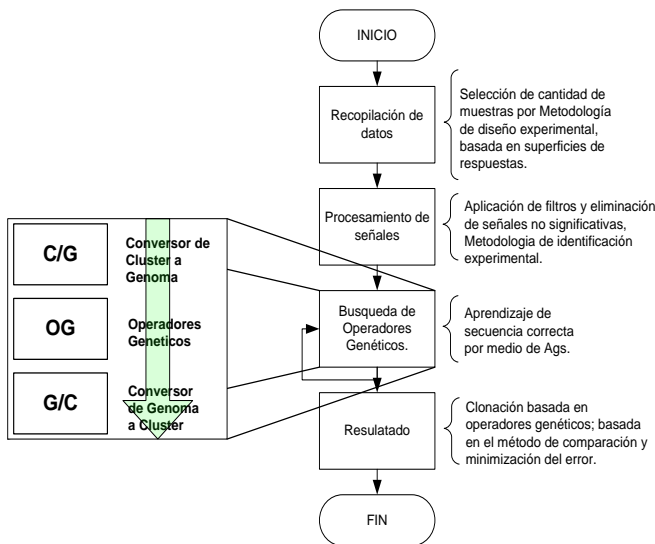


Figura1. Metodología de Clonación [4]

El primer paso del proceso de clonación, consiste en la recopilación de datos, esta se fundamenta en la selección de una cantidad de muestras representativas del tipo de dispositivo a clonar, para colocar un ejemplo más claro, se puede tomar como referencia las variables (en el ejemplo de un sensor) representativas en el proceso, estas pueden ser seleccionadas con la ayuda del experto o utilizando técnicas de correlación para tal fin, seguido de esta selección, se procede a implementar el preprocesamiento de la señal, lo que permitirá trabajar con unas señales más "limpias" y coherentes a la realidad.

Realizado los dos primeros pasos, los cuales consisten más en una selección y preprocesamiento de las señales, se ejecuta la segunda etapa de clonación, el primer paso reside en crear los clusters para los valores de las entradas y salidas (independiente del número de estas, lo que conlleva a ser una metodología multivariable), identificando señal por señal, entrada por entrada y salida por salida, los clusters más adecuados para cada uno de ellos.

La tercera etapa, es la que tiene que ver más con el trabajo propio de la investigación, es la sección en donde se buscan los operadores

genéticos, de ella se obtiene directamente el sensor o el controlador clonado, es un proceso iterativo y en el cual se pueden aplicar diversas técnicas, las cuales se explicarán en los apartados de este documento

Finalmente, el resultado obtenido con esta metodología, son funciones de salida (para problemas multiobjetivo) que contienen la información solicitada por el diseñador.

ENTORNO XFUZZY 3

XFuzzy 3 es un entorno de desarrollo de sistemas difusos complejos realizado en el Instituto de Microelectrónica de Sevilla [8]. La versión 3.3 contiene herramientas que cubren todo el proceso de diseño de sistemas difusos (descripción, verificación, identificación, aprendizaje, simplificación y síntesis) teniendo como base común el lenguaje de especificación formal XFL3 (Fig. 2) [9]. De ellas, se utilizarán todas en esta práctica, salvo las de síntesis.

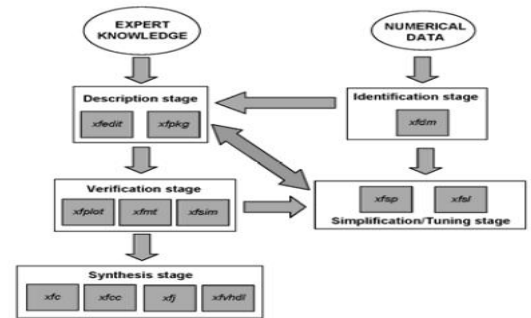


Figura 2. Diagrama de flujo de diseño de sistemas difusos con XFuzzy 3 [9]

Xfuzzy es un entorno en modo gráfico que facilita el tratamiento de sistemas difusos cumpliendo requisitos como portabilidad (está desarrollado en Java y, por tanto, puede ser ejecutado en cualquier plataforma) y usabilidad (a través de la versatilidad que ofrece su interfaz de usuario (Fig. 3)). Estos rasgos lo hacen propios de un entorno didáctico para la enseñanza de sistemas difusos. Cada una de las etapas del diseño queda cubierta por el acceso a una funcionalidad independiente. La descripción de sistemas difusos con la herramienta *xfedit* permite al alumno editar un sistema difuso sin necesidad de conocer los detalles del lenguaje de especificación *XFL3*. La edición de los paquetes que contienen las funciones que se utilizarán para las definiciones anteriores se puede realizar cómodamente a través de la herramienta *xpkg*.

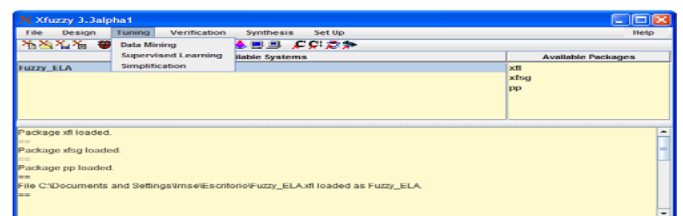


Figura 3. Ventana principal de XFuzzy 3

La verificación permite el análisis del sistema difuso descrito en su contexto de aplicación. En XFuzzy 3 esta etapa se realiza a través de tres herramientas de diferente naturaleza: *xfplot*, que permite representar gráficamente en dos o tres dimensiones la salida del sistema frente a una o dos de sus entradas; *xfmt*, para monitorizar los grados de pertenencia de las variables involucradas en las reglas a los conjuntos difusos así como los grados de activación y las conclusiones de las reglas para unos valores determinados de entrada, y *xfsim* como herramienta de simulación, que utiliza un modelo del entorno sobre el que se aplica el sistema difuso (tradicionalmente una planta a controlar en lazo cerrado), para evaluar su comportamiento.

El ajuste de un sistema difuso es mejor realizarlo mediante un aprendizaje automático, debido a la gran cantidad de parámetros que se manejan. XFuzzy 3 incluye la posibilidad de configurar y ejecutar el aprendizaje supervisado con la herramienta *xfsl* teniendo en cuenta unos patrones que determinan el comportamiento de entrada/salida deseado. También permite la posibilidad de generar un sistema a partir de unos datos de entrada (*Data Mining*) sin tener previamente que describir la estructura, es decir, se extrae una base de reglas a partir del conjunto de patrones, utilizando la herramienta *xfdm*. Para eliminar el conocimiento redundante que puede ser adquirido en todo proceso de aprendizaje, XFuzzy posee la herramienta de simplificación *xfsp*.

APLICACION EN LA OPERACION DE ENSAMBLE DE PROCESOS METALMECANICOS.

Es un proceso de ensamble de un eje homocinético para la industria automotriz. Un eje homocinético está constituido por dos juntas, una en cada extremo: junta móvil y junta fija, que están interconectadas por un eje macizo o tubular que se denomina eje de interconexión o intereje. La aplicación se realizó específicamente en el ensamble del intereje a la junta fija que se hace en una prensa neumática, operación que en el momento no responde a los requerimientos técnicos de calidad en el ensamble de los ejes homocinéticos, pues parte del proceso se realiza de manera manual obedeciendo a criterios y esfuerzos del operario de la máquina.

En el proceso de ensamble es importante controlar la fuerza (F), la velocidad lineal (VL) y la rotación angular (RA). Cada una de estas variables tiene requisitos técnicos que se deben cumplir y que cambian dependiendo del instante en que se encuentre el proceso.

Definición de Parametros de Funciones de Membresia

Para esto se utilizó sistemas neurodifusos que surgen de la combinación de las redes neuronales con los algoritmos de la lógica difusa, con el objetivo de unir las ventajas que cada uno presenta.

Existen varios métodos para diseñar el sistema de inferencia difuso que represente el control prealimentado, a partir de datos de entrenamiento de entradas y salidas para la realización de este trabajo se utilizó el método Sistema de Inferencia Neuro Difuso Adaptativo (ANFIS).

Para facilitar la programación del sistema neurodifuso, se utiliza el editor gráfico ANFIS (anfisedit) de Matlab. Se cargan los datos de entrada y salida de las variables como se muestra en la figura 4.

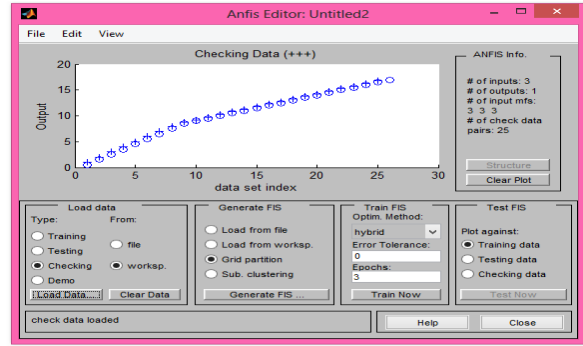


Figura 4. Carga de datos de entrada y salida en ANFIS

En la figura 5. se muestra las funciones de membresia de la variable Fuerza que se obtuvo con este metodo.

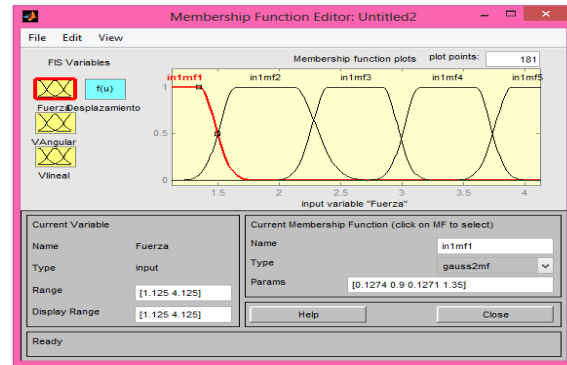


Figura 5. Funciones de membresia de la variable Fuerza

B. Definición de Reglas del sistema Difuso

Con el método Sistema de Inferencia Neuro Difuso Adaptativo (ANFIS). Se obtuvieron 125 las reglas del sistema difuso como se visualiza en la figura 6.

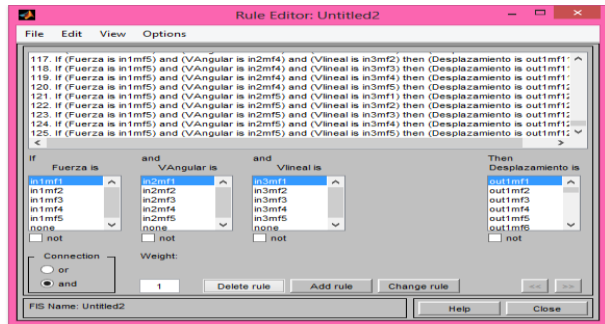


Figura 6. Reglas del sistema Neurodifuso

C. Extracción de reglas mediante algoritmos de tipo “grid” utilizando entorno XFuzzy 3

Las técnicas de identificación basadas en algoritmos de tipo “Grid” realizan una partición de tipo matricial o rejilla de los datos de entrada para estructurar el espacio y obtener la base de reglas que soporte el sistema difuso. El inconveniente de estos sistemas es que, aplicado a muchas entradas, genera un sistema muy complejo puesto que el número de reglas aumenta exponencialmente con el número de

entradas. Por lo tanto, es necesario simplificar posteriormente para encontrar un sentido lingüístico en el

Resultado.

Con la herramienta *xfdm* (Fig. 7) de realizamos una extracción de reglas aplicando el algoritmo *Wang y Mendel* como algoritmo orientado a estructura, con tres funciones de pertenencias de tipo gaussianas como variables de entrada, el producto como operador de conjunción y *Takagi-Sugeno* como método de inferencia. Como el sistema generado posee información redundante en una base con un número tan elevado de reglas y de funciones de pertenencias en los consecuentes, es necesario simplificar antes de realizar el aprendizaje. La herramienta *xfsp* (Fig. 8) nos permite realizar dicha tarea. Entonces, podemos aplicar un proceso de aprendizaje a los consecuentes de las reglas (aplicando, por ejemplo, el algoritmo de aprendizaje de *Marquardt-Levenberg*).

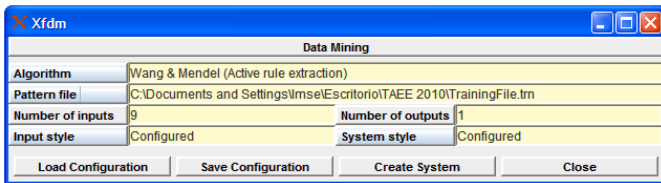


Figura 7. Ventana de identificación *xfdm*

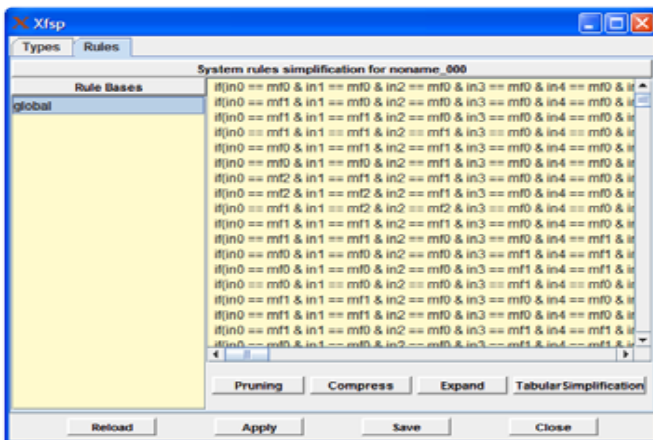


Figura 8. Simplificación de reglas con *xfsp*

D. Obtención del mapa genético del controlador de la operación de ensamble.

El sistema anterior no tiene la capacidad de aprendizaje y adaptación. Esto se puede lograr a través de técnicas híbridas que incluyen los sistemas difusos, junto con técnicas complementarias como lo son las redes neuronales, los algoritmos evolutivos o los métodos probabilísticos.

Para la presente investigación se utilizarán los AGs para la aplicación e interpretación del mapeo genético, que contiene los códigos de la estructura funcional del controlador de la prensa. El mapeo es un conjunto de barras de códigos que describe las unidades operativas funcionales del controlador.

Codificación del cromosoma

La codificación seleccionada para los cromosomas está basada en números enteros en donde cada dígito de los parámetros representa un alelo, los parámetros están representados por cuatro dígitos, el conjunto de los alelos para cada parámetro corresponde a un gen del cromosoma, el conjunto de genes de la variable de entrada corresponde a los antecedentes y el conjunto de genes de la variable de salida corresponde a los consecuentes y la integración de los dos, forman un cromosoma. La integración de los genes genera el cromosoma. Con base en la estructura antecedentes – consecuentes; un ejemplo de cromosoma es el que se muestra en la 9

4 1 7 3 1 0 3 5 0 3 6 7 0 0 5 0 1 6 0 1 2 0 2 2	
Desplazamiento	Velocidad Angular
ANTECEDENTE	CONSECUENTE

Figura 9. Estructura del cromosoma

El proceso de evolución se realizó con base en Algoritmos genéticos. En la Figura 11 se muestran las funciones de membresía para el sistema D-F y la curva de la variable Fuerza aplicando el proceso de evolución.

## CONCLUSIONES

Partiendo de la necesidad de generar un sistema de control para la operación de prensado, en un proceso de ensamble de ejes homocinéticos y de la experimentación con los datos, se logró proponer un procedimiento sistemático con el objeto de encontrar replicas funcionales de objetos basados en técnicas de control inteligente.

En esta investigación se definieron cuatro variables: velocidad angular, velocidad lineal, fuerza y desplazamiento, las tres primeras son las variables que debe controlar el sistema y la última es la variable que define el estado del proceso. Se partió de una base de datos que se obtuvieron teniendo en cuenta la norma técnica del proceso, con el objeto de generar un sistema de entradas – salidas real, a partir de los cuales se aplicaron una serie de pasos sistemáticos hasta encontrar resultados congruentes.

Los pasos seguidos fueron: primero definir un sistema que permita establecer valores en las variables de salida a partir del estado en la operación de prensado; esto se logró a través del diseño de un sistema fuzzy; mediante el método Sistema de Inferencia Neuro Difuso Adaptativo (ANFIS). luego, Extracción de reglas mediante algoritmos de tipo “grid” utilizando entorno XFUZZY 3y finalmente a través de la codificación en forma de cromosomas (antecedente – consecuente) del resultado de las reglas del sistema fuzzy, evaluadas en un conjunto de datos del sistema, se obtuvo el genoma; este genoma, replica el funcionamiento del sistema de control, pero, preciso de un proceso de evolución que demande

La aplicación de operadores genéticos basados en algoritmos genéticos, con el objeto que aprenda y optimice las reglas y el que resultado final sea una replica funcional evolucionada del sistema de control.

Tabla5. Cronograma

Cronograma

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Diseño, Desarrollo y aplicación de nueva metodología de diseño de ingeniería de control basada en Clonación Artificial por replicación funcional que permita implementar en la plataforma DELTAV de Emerson Process Management estrategias de control avanzado como Control Adaptativo_Predictivo, Control Inteligente, Control Robusto, Control Optimo, Control No lineal para los procesos de intercambio de calor, generación de vapor-caldera y turbina Terry.	████████████████████					
Diseño, desarrollo e implementación de los sistemas DCS y SIS en la Planta Piloto por método de evolución de células madres mecatrónicas bajo la concepción de sistemas sensor-	████████████████████					

controlador-actuator.						
Modelación de sistemas de control avanzado como Control Adaptativo_Predictivo, Control Inteligente, Control Robusto, Control Optimo, Control No lineal para los procesos de intercambio de calor, generación de vapor-caldera y turbina Terry.		████████████████				
Diseño de nuevos algoritmos y sistemas de control avanzado nueva metodología de diseño de ingeniería de control basada en Clonación Artificial por replicación funcional, con sistemas inteligentes basados en hardware evolutivo.		████████████████████				

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	SEMILLERO DE INSTRUMENTACIÓN & CONTROL
Tutor del Proyecto	ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ
Grupo de Investigación	CONTROL Y MECATRONICA
Línea de Investigación	LINEA DE AUTOMATIZACION Y CONTROL
Fecha de Presentación	SEPT DE 2014

Tabla6. Identificación del semillero

REFERENCES

Delgado, Alberto. Inteligencia Artificial y Minirobots. Ecoe Ediciones, 1998.

Feng G. (2006). “A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 14, No 5, pp 676 - 697.

Muñoz, A. F. Sensorica e instrumentación, mecánica de alta precisión. Editorial Pueblo y Educación, Habana, 1997.

Muñoz F., Gomez J ., Vega J., (2010) “Investigación y desarrollo de nueva metodología de diseño basada en patrones de células madres y clonación artificial de una prótesis bioeléctrica de miembro inferior para discapacitados de la violencia”. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzadas, Vol. 2, No. 16, pp.

Vera Pérez, Fredy. Sistema electrónico de clonación artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo. Trabajo de grado, Universidad de Pamplona, 2006

Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].

Boukroune A., Tadjine M., M’Saad M., Farza M. (2010) “Fuzzy adaptive controller for MIMO nonlinear systems with known and unknown control direction” Fuzzy Sets and Systems No. 161, pp 797 – 820

[8] Xfuzzy home page: <http://www.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy>

[9] I. Baturone et al. “Using Xfuzzy environment for the whole design of fuzzy systems”. Proc. *IEEE Int. Conf. Fuzzy System*, London, July 23-26 (2007).

[10] M. Sanz, M. Santos. Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento. 1a edición. Universidad de Complutense de Madrid: Alfaomega Ra – Ma, 2006.