

**ALGORITHMS AND SYSTEMS BASED ON PATTERNS OF STEM CELL AND  
ARTIFICIAL CLONING FOR AUTOMATION AND CONTROL IN AN  
ASSEMBLY OPERATION IN METALWORKING PROCESSES**

**ALGORITMOS Y SISTEMAS BASADOS EN PATRONES DE CÉLULAS  
MADRES Y CLONACIÓN ARTIFICIAL PARA LA AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL DE UNA OPERACIÓN ENSAMBLE EN PROCESOS  
METALMECÁNICOS**

**MSc.(c) July Andrea Gómez Camperos<sup>\*</sup>, Ph.D. Antonio Faustino Muñoz Moner<sup>\*\*</sup>  
Ph.D. Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero<sup>\*\*\*</sup>**

**\* Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Tecnoparque Colombia Nodo Ocaña.**  
E-mail: julyandrea.gomez@misena.edu.co.

**\*\* Universidad Autónoma de Bucaramanga.**  
Grupo de Investigación en Control y Mecatrónica.  
E-mail: amunoz@unab.edu.co.

**\*\*\* Universidad de Pamplona, Grupo de Automatización y Control.**  
E-mail: oscar.gualdron@unipamplona.edu.co.

**Abstract:** In this paper the development of algorithms and systems based on stem cell pattern and artificial cloning, applied to an assembly operation in metalworking processes of manufacturing; Artificial cloning methodology applied, emerges as an alternative for the development of ways, advanced measuring equipment and control, which can answer the requirements of industrial modernization, through functional replicates (clones) of sensors, controllers and actuators based on artificial intelligence techniques; in these methods and procedures of artificial cloning and evolutionary computation are applied.

**Keywords:** Stem cell patterns and artificial cloning, genetic algorithm, functional replica.

**Resumen:** En el presente trabajo se muestra el desarrollo de Algoritmos y sistemas basados en patrones de células madres y clonación Artificial aplicada en una operación de ensamble en procesos metalmecánicos de fabricación; la metodología de Clonación Artificial aplicada, surge como una alternativa para el desarrollo de medios, equipos de medición y de control avanzados, que permiten responder a las exigencias de la modernización industrial, a través de réplicas funcionales (clones) de sensores, controladores y actuadores basadas en técnicas de inteligencia artificial; en ellos se aplican métodos y procedimientos de clonación artificial y computación evolutiva.

**Palabras clave:** Patrones de células madres y clonación Artificial, algoritmos genéticos, replicas funcionales

## 1. INTRODUCCIÓN

La automatización de los procesos productivos se establece como una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio,

dinámico y competitivo, facilitando la relación entre las diferentes áreas de la organización o empresa. En la industria de mediano y alto impacto tecnológico y económico, es común utilizar elementos de alta precisión los cuales permiten la

correcta manipulación de las variables que éstas industrias involucran, desafortunadamente, dichos dispositivos en la mayoría de los casos y directamente proporcionales a su complejidad son de un alto costo, lo que inhibe a dichas empresas a incurrir en los procesos de automatización indispensables para su supervivencia a futuro.

Teniendo en cuenta lo anterior se resalta la importancia de aumentar la productividad de las empresas disminuyendo los costos de las partes que comprenden un sistema automatizado.

La clonación artificial tiene en la ingeniería varios campos de aplicación. Una de ellas es el desarrollo de medios de medición y sistemas de control avanzado, que permitan responder las exigencias de la industria, a través de réplicas funcionales de sensores, controladores y actuadores, basados en técnicas de inteligencia artificial y soportados en sistemas avanzados de clonación artificial y software evolutivo.

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, se realiza la codificación en forma de cromosomas del resultado de las reglas del sistema fuzzy, evaluadas en un conjunto de datos del sistema, se obtuvo el genoma, el cual replica el funcionamiento del sistema de control, con la aplicación de operadores genéticos basados en algoritmos genéticos, y cuyo resultado final es una réplica funcional evolucionada del sistema de control.

## 2. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA 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 réplicas 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.

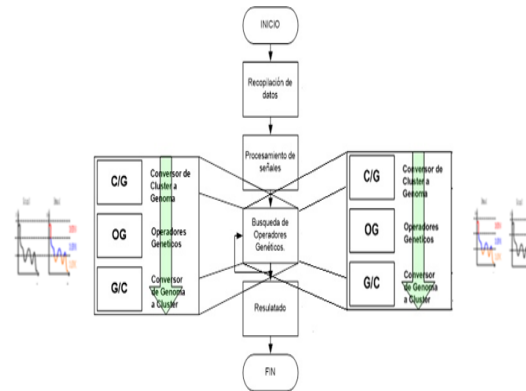


Fig. 1. Diagrama de la metodología aplicada.

Fuente: I. Lache, F. Muñoz.

La metodología de clonación artificial en ingeniería parte de un sistema basado en conocimiento. Se fundamenta en la teoría de los sistemas expertos; puede partir de información cualitativa, pero igual la base de conocimiento puede estar generada por información de sensores sobre variables físicas del proceso en cuyo caso las reglas son el resultado de la interacción de los datos de entrada – salida.

Para esta metodología se proponen los siguientes pasos:

- Creación de los clúster.
- Creación de los cromosomas.
- Búsqueda de consecuentes.
- Identificar los operadores correctos.
- Crear algoritmo genético que busque la Secuencia.
- Evaluar los individuos.
- Seleccionar los mejores (evaluados según error).
- Reproducir y generar nueva población.
- Repetir ciclo optimizando el error.
- Identificación de valores de salida.
- Desfusificación.

### 2.1 Creación de los clúster a través de unidades de extracción de características.

Estas neuronas representan los elementos de computación de la segunda capa de la red. Cada neurona de esta segunda capa realiza una transformación lineal sobre la configuración de sus entradas, generando la salida siguiente (1):

$$y_n = \sum_m w_{nm} \cdot X_m \quad (1)$$

$\forall$  campo receptivo  $m$  asociado a  $Nn$ .

Los pesos  $w$  representan los valores relativos asociados por cada neurona a la variable  $X_m$ . Finalmente, obtenido el nivel de excitación  $y_n$ , se utiliza una función de activación que puede ser identificada como una distribución difusa que asocia un grado de compatibilidad a cada valor de excitación.

El objetivo de estas unidades es describir el medio en términos de un conjunto de propiedades  $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ , (Figura 2) necesitándose tantas unidades como propiedades queramos utilizar para describir el medio.

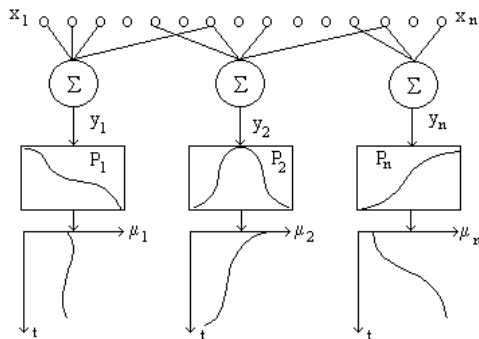


Fig. 2: Unidades de extracción de características que generan funciones de pertenencia y las caracterizaciones del espacio de entrada.

Fuente: K.F. Man and K.S. Tang, Article

Puede notarse, que bajo ciertas restricciones, el comportamiento de estas estructuras neuronales es funcionalmente equivalente al de algunos SLD (Jang y Sun, 1993), por lo que pueden utilizarse metodologías de identificación estructural y de parámetros propios de este tipo de sistemas. Con ello, podría configurarse la estructura neuronal inicial, asumiéndose, en este caso, una cantidad importante de conocimiento a priori.

## 2.2 Creación de cromosomas

La codificación seleccionada para los cromosomas está basada en los grados de pertenencia de las funciones de membresía 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 figura 3.

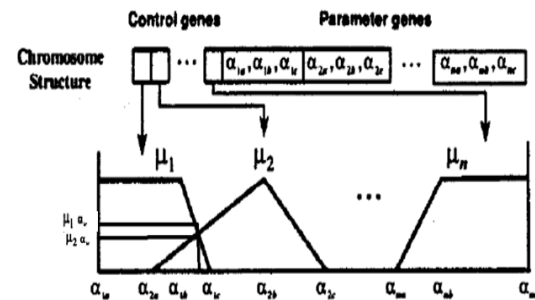


Fig. 3: Procedimiento de jerarquía del AGs.

Fuente: K.F. Man and K.S. Tang, Article.

## 2.3 Evolución del genoma

Consiste en la replicación del genoma para que sea funcionalmente compatible en cuanto a amplitud, frecuencia, capacidad de respuesta, tiempo de establecimiento y otras características dinámicas propias del objeto de control. Las características estáticas aparecen representadas en el clon a través de los parámetros estructurales, dimensionales, de interconexión de las partes mecánicas, electrónicas, neumáticas, etc. (Muñoz y Pardo, 2004).

En la presente investigación se proponen los Algoritmos Genéticos (AGs), para la aplicación e interpretación del mapeo genético, que contiene los códigos de la estructura funcional de la operación. Cada unidad operativa está formada por elementos unitarios que representan una parte de la operación del dispositivo lo que permitirá estudiar y optimizar la repercusión de cada variable en el desempeño del sistema.

## 3. METODOLOGÍA BASADA CÉLULAS MADRES

El dispositivo clonado, ya no precisa de una etapa de aprendizaje, está ya ha sido realizada en el procedimiento del AG (en la etapa de búsqueda de la correcta secuencia), por lo que se implementa directamente, reemplazando al dispositivo “padre”, el cual se puede utilizar como elemento de referencia en una etapa primaria de implantación un resumen de la operación del sistema clonado, en esta ilustración se aprecia, como las entradas son convertidas, gracias al “Fuzzy c-mean” en clúster difusos y estos a su vez son reflejados en conjuntos difusos.

Luego de poseer esta información en forma de “cromosoma”, se aplica la secuencia de operadores genéticos, la cual convierte la información de

entrada en “cromosomas” de salida con la misma estructura de datos (antecedentes y consecuentes). El conjunto de datos entregado por el proceso de clonación, es procesado por el sistema, una de las etapas importantes de este proceso es la defuzzificación de una parte del “cromosoma”, de tal forma que podamos tener el valor de la variable clonada en rangos del universo de discurso y no en términos de pertenencia a conjuntos borrosos. (Fig. 4).

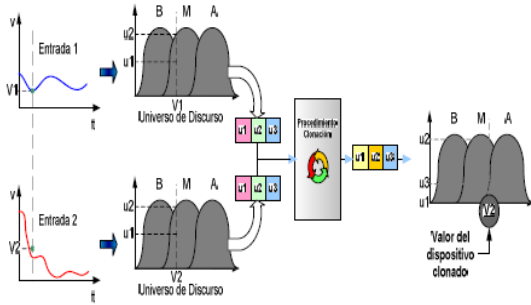


Fig. 4. Procedimientos de Clonación.

Fuente: Muñoz F, 2005.

El conjunto de datos entregado por el proceso de clonación, es procesado por el sistema, una de las etapas importantes de este proceso es la defuzzificación de una parte del “cromosoma”, de tal forma que podamos tener el valor de la variable clonada en rangos del universo de discurso y no en términos de pertenencia a conjuntos borrosos.

#### 4. MODELADO MEDIANTE EL MÉTODO ANFIS

El sistema neuroborroso tomado como ejemplo de sistema neuroborroso inductivo es el conocido como *Adaptive Network based Fuzzy Inference System* (ANFIS), en el que las reglas borrosas se obtienen a partir de datos del propio proceso (J.-S. R. Jang 1993). El sistema ANFIS es uno de los primeros sistemas neuroborrosos conocidos. Su principio se basa en la extracción de reglas borrosas a través de una estrategia descomposicional, donde las reglas son extraídas en cada nivel de una red neuronal. Una vez obtenidas las reglas, éstas deben proporcionar la información necesaria del comportamiento global del proceso.

Como todo sistema de inferencia borroso, el sistema neuroborroso ANFIS desarrollará los siguientes pasos: emborronado de las entradas en forma de variables físicas del sistema, computación del grado de satisfacción de cada regla lingüística,

conjunción de las diferentes premisas o antecedentes y desemborronado. Todo este proceso se realiza en las distintas capas secuenciales de la red neuronal.

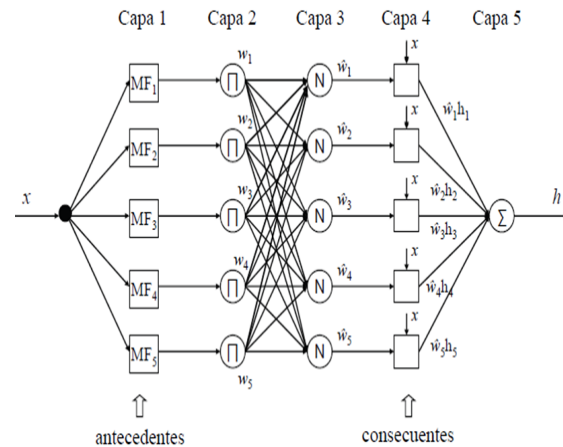


Fig. 5: Arquitectura del sistema ANFIS.

Fuente: J.-S. R. Jang

ANFIS implementa el modelo de Takagi-Sugeno para la estructura de las reglas if-then del sistema borroso. La arquitectura de ANFIS dispone de cinco capas, tal y como se muestra en la Figura 5. En esta arquitectura, todos los nodos de una misma capa tiene la misma función. Los nodos representados con cuadrados son nodos cuyos Parámetros son ajustables, mientras que los nodos representados por círculos son nodos fijos.

#### 5. APLICACIÓN: PRENSA DE ENSAMBLE DE EJES HOMOCINÉTICOS

La metodología se aplicará al proceso de ensamble de ejes homocinéticos, de una empresa del sector metalmeccánico, con base en normas técnicas existentes para tal proceso.

El alcance de este Trabajo se centra en la operación de pensar, esta operación se realiza por medio de una prensa hidráulica, en la que el operador debe mantener oprimido el mando todo el tiempo durante el ciclo de la máquina. Aquí se ensambla la junta fija al intereje. (Figura 6)

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.

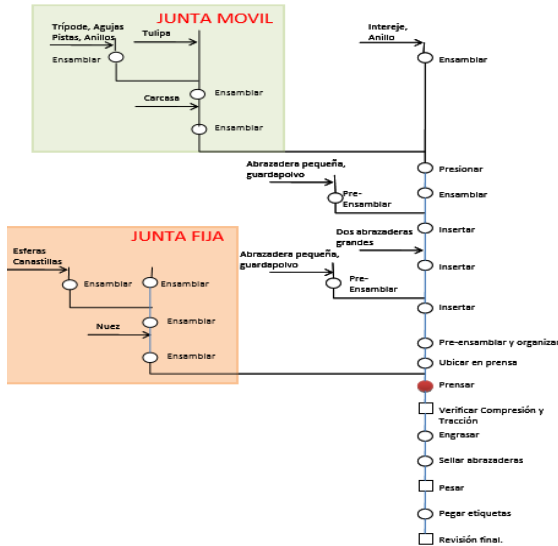


Fig. 6: Proceso de prensado.  
Fuente: Empresa DANA TRANSEJES.

**5.1 Modelado Neuroborroso**

El proceso de ensamble de los ejes homocinéticos posee una dinámica compleja, fuertemente no lineal, de difícil modelado, y poblada de incertidumbres. Por tanto el sistema neuroborroso ANFIS puede resultar apropiado para modelizar las dinámicas del proceso.

Gracias a los datos experimentales disponibles es posible crear un modelo del proceso de ensamble a través de un sistema de inferencia neuroborroso inductivo como ANFIS.

Teniendo en cuenta las características de proceso se decide crear un modelo múltiple- entrada / simple-salida.

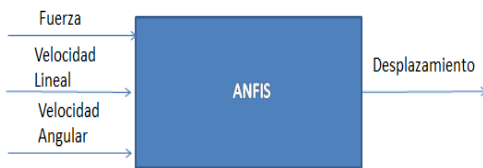


Fig. 7. Modelo del proceso de ensamble.

El uso de estas tres señales se debe a que todas ellos proporcionan información relevante sobre el proceso de ensamble. La eliminación de alguna de ellas deterioraría en gran medida el proceso de monitorización. De este modo, el proceso de ensamble se modela de la siguiente manera: (ecuación 2)

$$D= H (F,VL,VA) \tag{2}$$

Donde H representa en este caso el sistema de inferencia neuroborroso ANFIS.

Una vez definida la estructura del modelo, el sistema neuroborroso ANFIS se entrena para que aprenda la dinámica del proceso por medio de datos entrada-salida. El conjunto de datos experimentales utilizados en este trabajo se ha extraído del trabajo (Muñoz y Muñoz, 2010).

Para facilitar la programación del sistema neurodifuso, se utiliza el editor gráfico ANFIS (anfisedit) de matlab (R. Haber y H. Unbehauen, 1990).

Se cargan los datos de entrada y salida de las variables como se muestra en la figura 8.

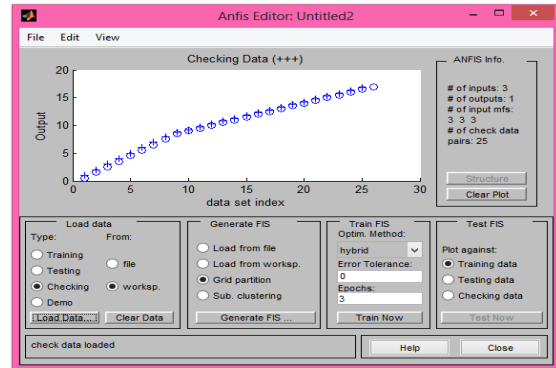


Fig. 8. Carga de datos de entrada y salida en Anfis.

Después de haber realizado varios diseños de sistemas neurodifusos, con diferentes combinaciones de características como: número y tipo de funciones de membresía de entrada, tipo de salida, número de épocas de entrenamiento, método de inicialización y generación del sistema de inferencia difuso, método de optimización para el entrenamiento, etc. En base al error de entrenamiento se definió el sistema neurodifuso que representará el control neurodifuso. Este índice de error depende de las características mencionadas anteriormente y representa la diferencia entre los valores de salida de los datos de entrenamiento y las salidas del sistema de inferencia difuso correspondiente a los mismos datos de entrenamiento de entrada.

El sistema neurodifuso que representa al Control Neurodifuso Multivariable (CNM), está representado por un sistema difuso del tipo TSK (Takagi Sugeno Kan) de 3 entradas, 1 salida y 216 reglas generadas por las diferentes combinaciones de los antecedentes como lo muestra la figura 9.

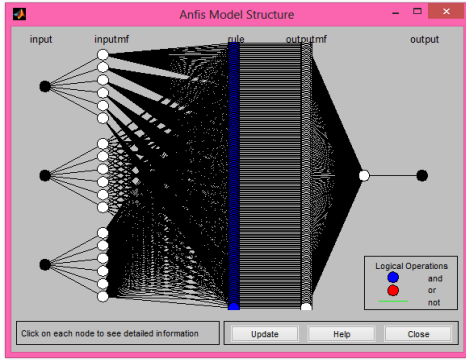


Fig. 9. Estructura del sistema neurodifuso.

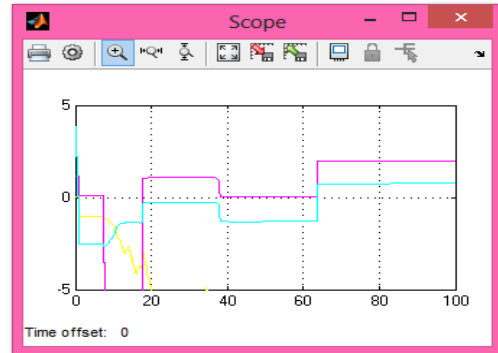


Fig. 12. Respuesta del sistema Neurodifuso

Inferencia basada en reglas individuales, la figura 10 muestra la base de reglas, estas reglas son generadas por la combinación de las entradas, como tenemos 3 entradas (Fuerza, Velocidad Angular y Velocidad Lineal esto nos da una combinación de 216 reglas.

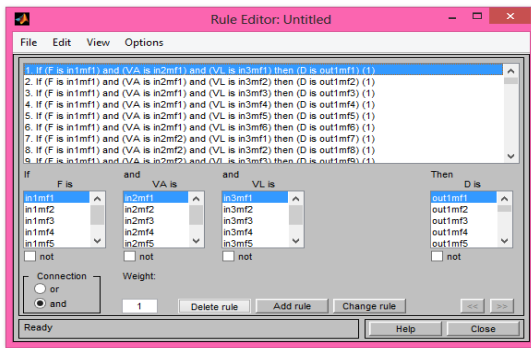


Fig. 10. Base de reglas del sistema neurodifuso.

### 5.2 Respuesta del sistema neurodifuso

Para la verificación del error se modeló en simulink el sistema multivariable como se muestra en la figura 11.

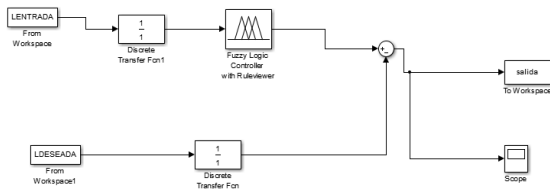


Fig. 11. Diagramas de Bloques en Matlab del sistema Neurodifuso.

Como se puede observar en la figura 12 los valores de salida respecto a los requerimientos técnicos de cada una de las variables son aceptables, pero no precisos por este motivo esta representación necesita un proceso de aprendizaje con el objeto que evolucione y pueda responder mejor a las condiciones del sistema.

### 5.3 Creación de los clúster

Del sistema Neurodifuso se obtuvieron los clúster de entrada mediante un algoritmos tipo Grid, la figura 13 muestra los clúster del sistema.

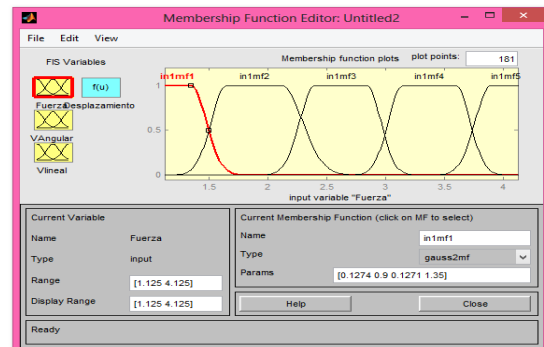


Fig. 13. Cluster del sistema.

### 5.4 Creación de los cromosomas

Para este paso se utilizó el Procedimiento de jerarquía del AGs (K.F. Man and K.S. Tang, 2007) obteniendo los siguientes cromosoma Figura 14.

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											

Fig. 14. Estructura del Cromosoma  
Fuente: Muñoz M y Muñoz, 2010

## 5.5 Evolución Genoma del controlador

La idea de la evolución del genoma del controlador implica realizar un aprendizaje sobre las reglas generadas con el objeto de mejorar la respuesta sobre la variable de entrada.

Para la evolución se utilizan algoritmos genéticos puesto que son métodos estocásticos de búsqueda ciega se soluciones cuasi-óptimas. En ellos se mantiene una población que representa a un conjunto de posibles soluciones, la cual es sometida a ciertas transformaciones con que se trata de obtener nuevos candidatos y aun proceso de selección sesgado a favor de los mejores

El proceso de evolución se realizó con base en Algoritmos genéticos. En la Figura 15 se muestran las funciones de membresía para el sistema D-F y la curva de la variable Fuerza aplicando el proceso de evolución

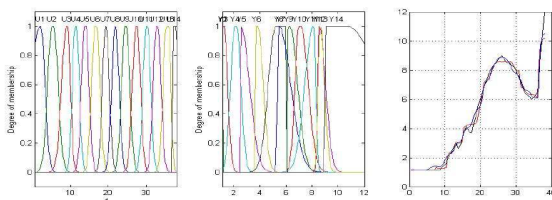


Fig. 15. Respuesta del sistema Clonado

Fuente: Muñoz M y Muñoz, 2010

## 6. 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.

El AG implementado evolucionó el sistema neurodifuso diseñado, permitiendo encontrar los

parámetros óptimos de las funciones de membresía que conforman el genoma de la operación en sus distintas unidades operativas.

Para ello se codificó el fenotipo “características físicas del proceso” en forma de cromosomas y luego se pasó a genotipo que representan los “parámetros de codificación del algoritmo”. A partir de la evaluación del genoma en el diseño mecánico de la prensa se concluye que además de las variables denotadas anteriormente, es importante tener en cuenta las propiedades mecánicas de los cuerpos involucrados en la operación como son: densidad, fricción, inercia.

## REFERENCIAS

- I. Lache, F. Muñoz. (2013). “Investigación de nuevos prototipos de sensores y sistema de control por clonación artificial, basados en técnicas de inteligencia artificial” [En línea]. Disponible: <http://ivanovichlache.googlepages.com/PaperPamILS.doc> [Consultado 3 Febrero 2013]
- J.S.R Jang y Sun C.T. (1993). *Functional Equivalence Between Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems*. IEEE Transactions on Neuronal Networks.
- K.F. Man and K.S. Tang. (2007). *Genetic Algorithms for Control and Signal Processing*, Department of Electronic Engineering City University of Hong Kong
- F. Muñoz, A. Pardo. (2004). “*The technology of advanced control of applied artificial cloning to highly precise*”. IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp 714 – 718.
- J.-S. R. Jang. (1993). “ANFIS: adaptive-network based fuzzy inference system,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- F. Muñoz. (2006). *Sistemas de control inteligentes de la planta de viscorreducción basados en la clonación artificial de un sensor de viscosidad y parámetros asociados*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 1, No. 7, Universidad de Pamplona, Colombia.
- F. Muñoz y M. Muñoz, (2010). Diseño de un sistema de control basado en clonación artificial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzadas, Vol. 2, No. 16, pp. 24 – 31.
- R. Haber and H. Unbehauen. (1990). “Structure identification of nonlinear dynamic systems – A survey on input/output approaches,” *Automatica*, vol. 26, pp. 651-677.