

**DEVELOP OF NOVEL GENETIC SYSTEMS WITH EVOLUTIVE HARDWARE
FOR CONTROLLER'S ARTIFICIAL CLONING IN A VISCOSITY REDUCTION
PLANT**

**DESARROLLO DE NUEVOS SISTEMAS GENÉTICOS CON HARWARE
EVOLUTIVO PARA LA CLONACIÓN ARTIFICIAL DE CONTROLADORES EN
LA PLANTA DE VISCORREDUCCIÓN**

PhD. Antonio F. Muñoz Moner

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

E-mail: amunozm@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper shows the finals research results about the development of advance measurement and control systems for a Viscosity Reduction Plant, based on the artificial cloning of a viscosity sensor and the application of intelligent control techniques for the associated parameters of the transducer – analyzer.

Resumen: En este trabajo se recogen los resultados finales de la investigación sobre el desarrollo de sistemas de medición y control avanzados para una planta de Viscorreducción, basado en la clonación artificial de un sensor de viscosidad y la aplicación de técnicas de control inteligente de los parámetros asociados al transductor-analizador.

Keywords: Intelligent control, Sensors artificial cloning, Controllers artificial cloning, Genetic controllers, Advance viscosity analyzers

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de medición y control de la viscosidad (μ) del combustóleo en la planta Viscorreductora, forma parte de la Unidad de Balance de la Refinería de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) ubicada en el municipio de Barrancabermeja, donde se procesan los fondos que llegan del crudo refinado caracterizados como combustóleo, y se almacenan para luego distribuirlo en adición a otros materiales, como componente de diferentes productos de uso industrial; la planta cuenta con un analizador para medir la viscosidad en línea y toda la instrumentación asociada al control y monitoreo del proceso.

El combustóleo (fuel-oil) es un subproducto de la refinación de petróleo, de gran influencia económica en el proceso por su considerable volumen de producción, que exige el consumo del Aceite Liviano de Ciclo (ALC) usado como diluyente de la brea, y debe cumplir con las especificaciones exigidas para su consumo, respecto a los contenidos de azufre y nivel de viscosidad (Paba H, 2000), para su uso en las calderas, ya sea puro o como emulsión, el resto de la producción se exporta. El problema que se presenta en los sistemas de preparación del combustóleo, es la dificultad para mantener el

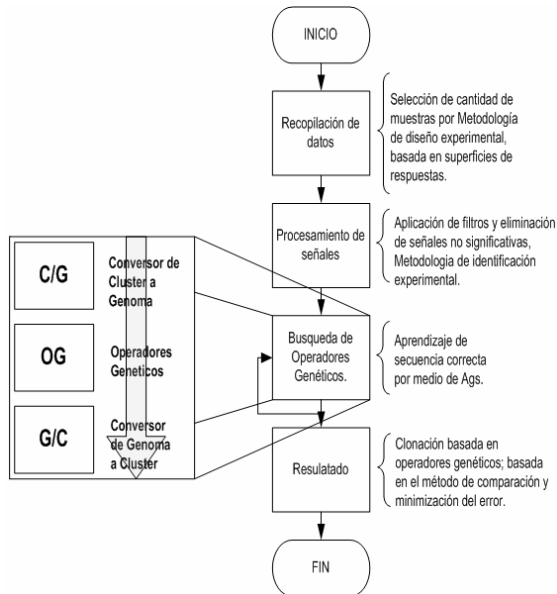


Fig. 3. Metodología de clonación artificial

En los GAs, cada cromosoma es una estructura de datos que representa una de las posibles soluciones del espacio de búsqueda del problema, los Cromosomas son sometidos a un proceso de evolución con operadores genéticos de selección, cruce y mutación; después de varios ciclos de evolución, la población dispone de genomas más aptos para la medición y el control de la viscosidad del combustóleo.

Se puede caracterizar los procedimientos de clonación artificial del sensor y del controlador por los siguientes componentes: Representación de Soluciones del Problema, Decodificación del Cromosoma, Evaluación, Selección, Combinación de Operadores Genéticos y Clonación de los sistemas de medición y control. A continuación se describen brevemente cada uno de los componentes anteriormente expuestos:

2.2.1 Representación del Problema

La representación de las posibles soluciones dentro del espacio de búsqueda del problema define la estructura del cromosoma que va ser manipulado por el algoritmo, normalmente, la representación binaria es la más empleada, por ser más simple y fácil de manipular a través de los operadores genéticos, y puede ser transformada en un entero o real. Un número binario también puede representarse con un número real $X_R \in [X_{min}, X_{max}]$, con precisión de p cifras decimales. Para eso es necesario K bits, calculados por la siguiente relación: $2^k \leq (X_{max} - X_{min}) \times 10^p$, sin la representación binaria, no siempre es la solución empleada; ya que el problema exige un alfabeto de

representaciones con símbolos que identifican las características del sistema de la planta. Con base en la experiencia de los operarios, se eligieron 4 cuatro variables principales: Temperatura registrada en diferentes puntos del proceso y en el final, Carga de material en la torre fraccionadora e inyecciones durante el proceso con adiciones, Flujo de combustóleo, ALC y Slurry y Presión de la carga; la temperatura del modelo del sensor se estabiliza durante el proceso y el registro de la medida de viscosidad se realiza con base en un valor constante de temperatura, durante el proceso de almacenamiento, reduciendo el problema a tres variables. Con los datos registrados de estas variables se puede aplicar una técnica de análisis de componentes esenciales, para establecer el grado de influencia de cada variable y mantener las restantes dentro de un intervalo de tolerancia.

2.2.2 Decodificación

La decodificación del cromosoma consiste básicamente en la construcción de la solución real del problema, como aparece en la Figura. 4.

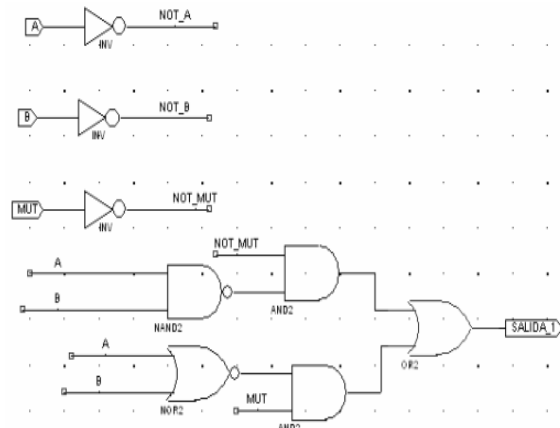


Fig. 4: Replicación con células madres

El proceso de decodificación construye la solución para ser evaluada, se diseña un sistema basado en dispositivos lógicos que se genera a través de operadores genéticos, que replican sus funciones y comportamiento en condiciones del proceso.

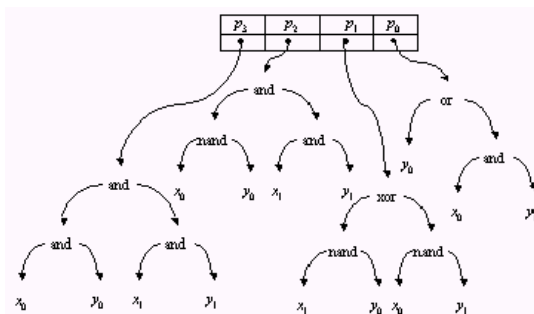


Fig. 5: Modelo de clonación

En la tabla que aparece a continuación se observa la estructura del genoma y su descripción.

Tabla 1: Estructura del genoma

P_m Probabilidad de mutación	P_c Probabilidad de cruzamiento	N Número de descendientes	Codificación del Individuo
$[I_{P_m}]$	$[I_{P_c}]$	n	
SUBGENOMA DE ESTRATEGIA			SUBGENOMA DE SOLUCIÓN
GENOMA TOTAL			

2.2.3 Evaluación

En los problemas planteados, se tiene una función multiojetivo (Muñoz A.F., 2002), de evaluación, que incluye la información del mapa genético para todas las generaciones del AG; y de acuerdo a la función de evaluación de cada dispositivo, se minimiza el costo del sensor y del controlador, para condiciones de alta calidad en la medición y control de la viscosidad.

Al establecer la clonación con operadores genéticos compuesto por un conjunto T de medios y dispositivos de medición y un conjunto H de dispositivos de control, una demanda D_j considerando las pérdidas P_{Lj} para la j-ésima etapa de clonación, la solución puede formularse para un problema de optimización no lineal, sujeto a restricciones asociadas al balance del sistema, y a las características tecnológicas de las unidades de la planta de Viscosidad (variables de decisión del problema) y a los límites de las capacidades de producción :

$$\text{Min } \left\{ \sum_{j \in J} \sum_{i \in T} C_{ij} (P_{ij}^T) \right\}$$

s.a.

$$\sum_{i \in T} P_{ij}^T + \sum_{k \in H} P_{kj}^H = P_{Lj} + D_j; \quad j \in J$$

$$P_i^{\text{TMin}} \leq P_{ij}^T \leq P_i^{\text{TMax}}; \quad i \in T, j \in J$$

$$P_k^{\text{HMin}} \leq P_{kj}^H \leq P_k^{\text{HMax}}; \quad k \in H, j \in J$$

$$V_{k,j-1} + r_{kj} - s_{kj} - q_{kj} = V_{kj}; \quad k \in H, j \in J$$

$$V_k^{\text{Min}} \leq V_{kj} \leq V_k^{\text{Max}}; \quad k \in H, j \in J$$

En la planta se registran los datos de las variables seleccionadas del sistema y corresponden a:

r_{kj} : es la variable Presión de la carga k durante la j-ésima etapa de clonación.

q_{kj} : es la variable Carga de material k durante la j-ésima etapa de clonación.

s_{kj} : el conjunto de variables como Factor de ajuste (bias) k durante la j-ésima etapa de clonación.

V_{kj} : es la variable Flujo de Combustóleo del k-ésimo estadio de viscosidad al final de la j-ésima etapa de clonación .

Los coeficientes numéricos expresan el porcentaje de incidencia de cada variable, entre cero y uno; para calcular el tiempo de ejecución, se dispone de los modelos de la mecánica de fluidos para el combustóleo, y del sistema dinámico para un modelo no lineal, que se reducen a las expresiones anteriores, suprimiendo las entradas perturbadoras, que por el filtrado de datos de los registros, no modifican los patrones reales para su manipulación por réplica de funciones en correspondencia con la metodología.

2.2.4 Selección

La selección y probabilidad de réplica de un dispositivo, está dada por su posición (*ranking*) respecto al total de la población ordenada. Para aplicar este esquema, se debe ordenar la población de manera creciente en función de la longitud del ciclo, que representa cada dispositivo, y luego se seleccionan, los de mayor probabilidad, la función de adaptación evaluada en el i-ésima etapa de clonación es: $Adap(i) = (f_{max} + f_{min}) - f_i$ y utilizar el conocido esquema de selección proporcional., que siempre se había tratado con problemas de maximización y que están naturalmente adaptados para los Ags, es conocido además, que todo problema de minimización puede ser traducido a uno de maximización a través del inverso de la función de evaluación, así al maximizarla, se está minimizando implícitamente la función multiobjetivo., una alternativa utilizada consiste en que la opción útil en estos casos, es cambiar el esquema de selección.

En las figuras 6 y 7, se muestran los gráficos comparativos de los sistemas adaptativos de medición y control de la viscosidad.

El sistema de medición y control que se desarrollo para la demostración de esta metodología utiliza datos de un proceso petroquímico de la planta de viscosidad de ECOPETROL en B/meja, en donde influyen las variables de Presión, Temperatura y Nivel, los cuales afectan una 4 variable denominada Viscosidad, con estos datos se podrá trabajar para la demostración de la metodología, el software consta, además de las mismas etapas explicadas en este documento, el primer paso es identificar las señales y hacer un procesamiento, esto se observa en la figura 8, donde se aprecian las señales ya filtradas.

En este caso en particular se desea implementar el uso del aprendizaje "on-line", para lo cual se ha estudiado muy de cerca el uso de células madres electrónicas, que al igual que sus homologas en la biología, estas células pueden convertirse en cualquier otro tipo de células dentro del cuerpo y a replicarse en una cantidad aun indeterminada de veces. Para la selección es necesario implementar una compuerta NOR y compuerta NAND dentro del mismo circuito, en este caso en especial, se trabajarán compuertas de 2 entradas, para lograr el funcionamiento del circuito como célula madre, se debe incorporar una 3 entrada, la cual funcionará como operador lógico mutable entre la NAND y la NOR el circuito se puede apreciar en la figura 4.

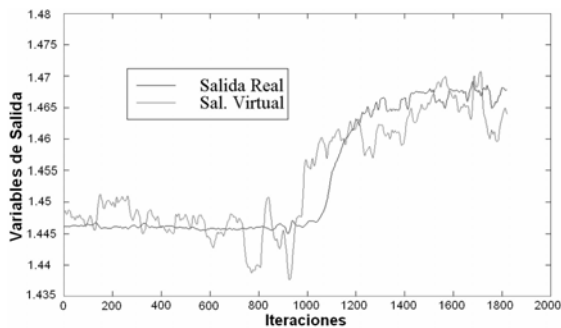


Fig. 6: Comparación de los sistemas de adaptación del sensor

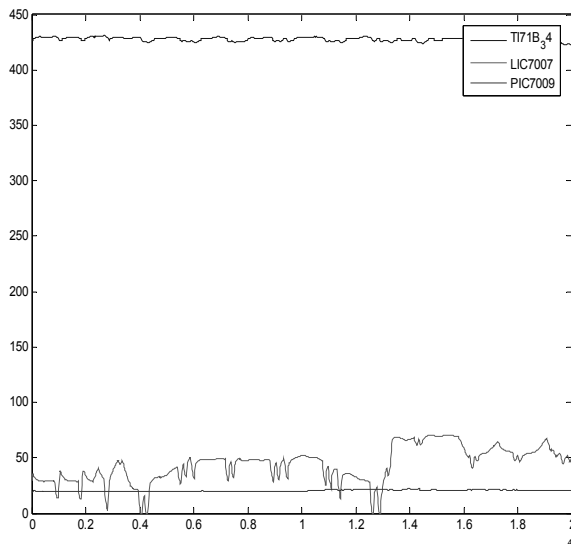


Fig. 7: Comparación de los sistemas de adaptación del controlador

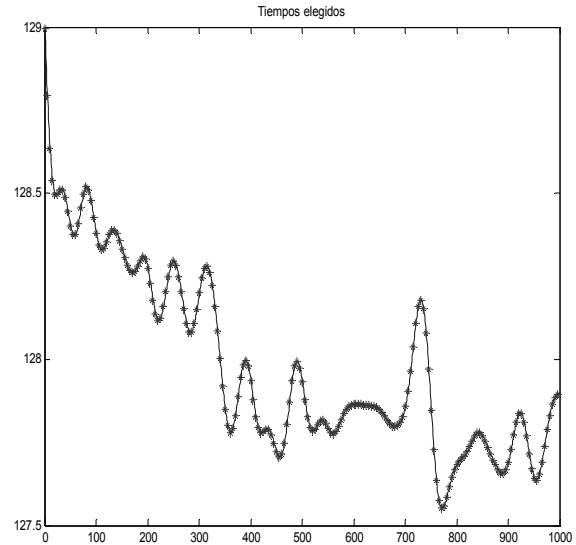


Fig. 8: Salida y Muestreo

A las señales obtenidas anteriormente se les aplico la metodología de clonación propuesta, sin conocer previamente las relaciones entre las variables de entrada y de salida; gracias a la metodología, se pudo encontrar una relación en algoritmos genéticos, con la modalidad fuzzy-genético, que permita la inferencia de la salida, los resultados se aprecian en la Figura 6 y Figura 7 la evolución de esta población (200 individuos) en 350 generaciones es evidente, en la Figura 8, en donde se encuentran las 3 primeras calificaciones de cada población, el criterio para detener el algoritmo genético fue dado por el tiempo máximo de ejecución (12hrs)

Para la implementación de este paradigma, es necesario contar con elementos que permitan una rápida y flexible configuración en hardware, para lograrlo utilizamos cualquier tipo de dispositivo lógico programable, en este caso en específico se utiliza un FPGA (Field Programmable Gate Array).

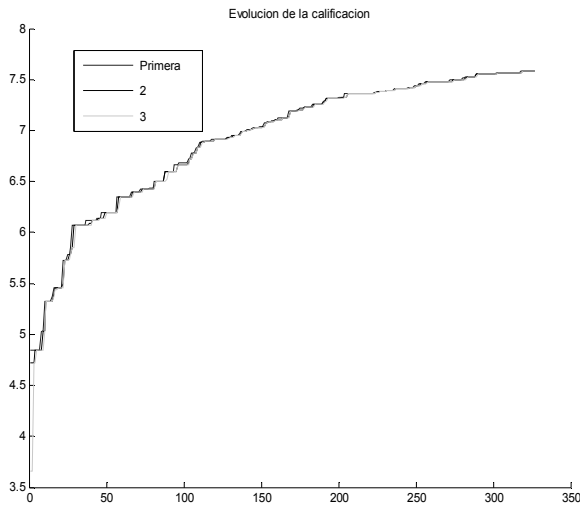


Fig. 9: Evolución de la calificación

Como se puede observar en la figura 9, el máximo porcentaje de error obtenido es del 0.08%, y la media de esta medida es del 0.01% aproximadamente, lo que permite acercarnos a un sistema de alta precisión con costos inferiores a los requeridos para tal fin, confirmando que la metodología implementada es válida para la obtención de clones en ingeniería reduciendo costos en la industria y optimizando los recursos de las mismas a través de aplicación de células madres que pueden trabajar tanto como NOR o NAND, dependiendo de su entrada de operador lógico mutable

2.2.5 Combinación de Operadores Genéticos

En este caso, los parámetros involucrados en el proceso de clonación, asumen valores significativos que exigen un comportamiento, como unidades independientes, en contraste con el enfoque de miembros independientes de la población, podemos codificar los *parámetros de control* de la siguiente forma:

a) Probabilidad de mutación

Sea pm la probabilidad de mutación de un bit para cierto individuo. pm se representa en binario como un entero n en donde $p K = n m$ Hay N tasas de mutación que denotamos por $(pm)_i$ $i=1,2,\dots,N$. Estas evolucionan en el tiempo bajo los operadores del AG., cada individuo se hace mutar, entonces, con probabilidad $(pm)_i$.

b) Probabilidad de cruzamiento

Sea $[0,1]$ pc la probabilidad de cruzamiento para un cierto individuo como en el caso de pm , pc se codifica en binario como un entero n en donde $p K = n c$. El código de pc es también parte de la cadena genética

En este caso, los parámetros toman sus valores funcionales considerando que no afectan a los individuos como unidades independientes, en contraste con un enfoque de que los individuos como miembros de la población, podemos codificarlos por los *parámetros de control* como aparece en la tabla 2

Tabla 2: Mapeo Genético

Estado Actual	Salida, Movimiento, Siguiente Estado	
	Entrada=0	Salida=0
Q0	1,D,Q1	0,I,Q0
Q1	0,D,Q2	---
Q2	0,D,Q3	1,D,Q3
Q3	1,I,Q4	1,D,Q3
Q4	0,I,Q5	1,I,Q4
Q5	0,D,Q6	1,I,Q5
Q6	0,D,Q7	0,D,Q2
Q7	0,I,Q8	1,D,Q7
Q8	---	0,I,Q9
Q9	1,I,QA	1,I,Q9
QA	1,I,QA	0,D,QB
QB	0,D,QB	0,D,QB

2.2.6 Clonación de los sistemas de medición y control

Se refiere al modelo que describe los procedimientos siguientes.

- Una población inicial, se genera de los sistemas de medición y control de la viscosidad.
- Una cadena patrón se establece. Ésta constituye la entrada binaria al autómata al inicio de los cálculos.
- Se establece una cadena objetivo. Ésta es una secuencia binaria que el autómata debe predecir a partir de una secuencia binaria de entrada.
- Para cada autómata en la población, se ejecuta un número prefijado de pasos; naturalmente, las acciones tomadas en cada paso son función de la estructura.
- El autómata debe escribir el t -ésimo símbolo correspondiente al símbolo t de la entrada; cada sistema es calificado de acuerdo con la cantidad de símbolos de replica.
- Los autómatas se ordenan su función de desempeño, la función multiobjetivo hasta el número n .

Dado este ordenamiento, definimos un conjunto de $\lfloor n/2 \rfloor$ parejas. La primera pareja consiste de los individuos 1 y n ; la segunda corresponde a los individuos 2 y $n-1$, etc. En general, la pareja i consiste de los individuos i y $n-i+1$. En cada pareja designamos al individuo con mejor desempeño como el origen; el otro como el destino.

g) Con probabilidad c (para cada una de las parejas), se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

h) Se eligen dos puntos de cruzamiento. El primero de ellos corresponde al origen; el segundo al destino.

i) Una cadena de longitud $O(P)/2$ se elige en el punto de origen; otra se elige en el punto de destino. Las cadenas genéticas se consideran como anillos, es decir, el bit más a la derecha de la cadena se considera contiguo al bit más a la izquierda.

j) Se efectúa el cruzamiento entre fuente y destino

h) Se induce una mutación con probabilidad m .

Los pasos (a) a (h) se repiten un número fijo de veces o hasta que se encuentra la replica perfecta, y es lo que denominamos un autómata genético. Nuestra contención es que la población evoluciona positivamente. Es decir, que los autómatas pueden predecir más atinadamente en la generación $g+1$ que en la generación g . Por tanto, el proceso descrito garantiza que el autómata (sistema de clonación) aprenda y replique.

3. CONCLUSIONES

La viscosidad es una variable de difícil medición y control, requiere generalmente de variables que relacionen sus propiedades, que al identificar la no linealidad del proceso, permite establecer una aproximación de su comportamiento real, con base en un sistema de clonación que se adapte a sus cambios.

Para una acertada selección de variables no es suficiente con modelos teóricos, es necesario apoyarse los procesos y realizar pruebas para determinar el comportamiento del patrón a replicar. En un proceso como el de la planta Viscosreductora II es confiable, cambiar las variables desde la consola de control, para observar el comportamiento de las demás variables por espacios considerables de tiempo y su incidencia en el resultado de la viscosidad.

Resulta cómodo simular el funcionamiento de sensores y controladores mediante herramientas computacionales, como el Toolbox de AGs, valiéndose de sus capacidades para sistemas no lineales industriales, lo cual nos permite diseñar rápidamente el modelo, el entrenamiento y la validación a través del modelo, comparando las salidas con los valores esperados, de acuerdo a las entradas.

Esta metodología es aplicable a modelos que representan sistemas no-lineales. Su alcance es amplio, en la práctica se dispone de modelos adecuados para solucionar el problema planteado.

Se logró replicar el sensor y el controlador de viscosidad, por mapeo genético evolutivo, partiendo del concepto tecnológico de la clonación artificial con base en algoritmos genéticos y aplicando sistemas adaptativos.

Con el uso de técnicas de clonación artificial, basada en algoritmos evolutivos, es posible diseñar y construir sistemas inteligentes capaces de solucionar problemas con calidad superior a la lograda mediante otros métodos tradicionales, incluso de aquellos imposibles de resolver por métodos convencionales.

REFERENCIAS

- A. F. Muñoz. Artificial Cloning of Industrial Sensors. Editorial Ciencia y Técnica, Academia de Ciencias de Cuba, 397 Págs., 2002.
- A. F. Muñoz, Pardo A. Tecnologías de control avanzado y de Clonación artificial aplicada a sistemas Mecatrónicos de alta precisión. IEEE Intelligent Control Houston, Texas 2.003.
- J. L. Grosso, J. E. Forero, C. E. Cuadrado, F. Forero. Sistema de homogenización y control de viscosidad del combustóleo. ICP. 1.996
- H. Paba, E. Núñez. Implementación de sensores inteligentes utilizando redes neuronales aplicados en procesos de refinación del petróleo. Maestría en Ciencias Computacionales. UNAB. 2.000.
- Xin Y. A Review of Evolutionary Artificial Neural Networks. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Division of Building, Construction and Engineering. Australia. (pdf)
- Solartron Mobrey Ltd,
<http://www.solartronmobrey.com/viscosity/fueloilblending/fuel.html>, 17/04/2002