

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW METHODOLOGY FOR DESIGN
BASED ON PATTERN OF MOTHERS CELLS AND ARTIFICIAL CLONING OF
A BIOELECTRIC PROSTHESIS OF INFERIOR MEMBER FOR DISABLED
PEOPLE OF THE VIOLENCE**

**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**

PhD. Antonio Faustino Muñoz Moner*, Ing. July Andrea Gómez Camperos
Esp. Javier Mauricio Vega Torres***

*** Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB**

Ave. 42, No. 48-11, Tel. (+577) 643 6111 /643 6261

E-mail: amunozm@unab.edu.co, ingjaviermvega@yahoo.com

**** Centro de Investigaciones en Ingeniería y/o Organizaciones**

Universidad Francisco de Paula Santander, Ave. Gran Colombia No. 12E-96B Colsag

San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Tel. (+577) 5776655 Ext. 277- 284

E-mail: jagcomez@hotmail.com

Abstract: This work deals with the research and the development of a new methodology based on patterns of mothers cells and artificial cloning of a bioelectric prosthesis of member inferior for disabled people of the violence; equipping it with a data acquisition system, which takes their biological signals of its couple and then be replied in the prosthesis using artificial intelligence.

Keywords: Methodology, artificial intelligence, artificial cloning, sensors and controllers genome, replication, mechatronics control, prosthesis.

Resumen: Este proyecto trata de la investigación y el desarrollo de una nueva metodología basada en patrones de células madres y clonación artificial de una prótesis bioeléctrica de miembro inferior para discapacitados de la violencia; equipándolo con un sistema de adquisición de datos que tome las señales de su par biológico y luego sean replicadas en la prótesis usando técnicas de inteligencia artificial.

Palabras clave: Metodología, inteligencia artificial, clonación artificial, genoma de sensores y controladores, replicación, control mecatrónico, prótesis.

1. INTRODUCCIÓN

Es difícil pensar en la vida de una persona con amputación del miembro inferior y en general de cualquier persona con movilidad reducida sin ponerse en sus zapatos; para ellos la cotidianidad se transforma en un constante estado de

limitaciones físicas que impiden sentirse como una persona normal. Una solución a sus limitaciones es el uso de prótesis. La metodología propuesta hace parte fundamental de un proyecto de investigación que pretende utilizar células madres de naturaleza mecatrónica, que combina la mecánica de alta precisión, los circuitos electrónicos, el control

inteligente y la programación con software de alto nivel, para desarrollar una prótesis que imite por el método de clonación el movimiento de la pierna sana y garantice que la persona al caminar no cojee y ejecute su desplazamiento en forma normal, muy similar como lo realiza el miembro inferior sano. Esta opción permite generar mayor autoestima en la persona amputada.

El siguiente cuadro refleja el procedimiento a seguir para obtener el modelo experimental; se desarrollaran algunas actividades complementarias necesarias para lograr llevar a cabo el proceso de investigación y obtención de resultados.



Fig. 1: Metodología de desarrollo del proyecto

2. METODOLOGÍA BASADA EN ANÁLISIS CINEMÁTICO EXTREMIDAD INFERIOR

Es esta la etapa fundamental del trabajo, acá se realiza el estudio de la anatomía y morfología de la extremidad inferior; esto con el fin de conocer y llegar a una familiarización con los patrones de movimiento y las variables físicas (desplazamiento, velocidad angular, ángulos juntas, torque o momento, etc.)

Después de realizado el estudio de la anatomía, el siguiente paso consiste en hacer un análisis cinemático y cinético de la extremidad inferior, para ello existen diversos modelos propuestos por autores e investigadores reconocidos a nivel mundial. Algunos de estos modelos son:

2.1 Método para gráficos de unión basado en el análisis cinético

Está basado en la dinámica newtoniana y en algunos conceptos propios de la técnica de gráficos de unión. El análisis general de partida para realizar un gráfico de unión, comprende llevar a cabo el diagrama de cuerpo libre de un eslabón o fragmento de miembro inferior, al cual se le hace un análisis cinético; es decir, se analizan todas las fuerzas y momentos externos que pueden actuar sobre él (figura 2).

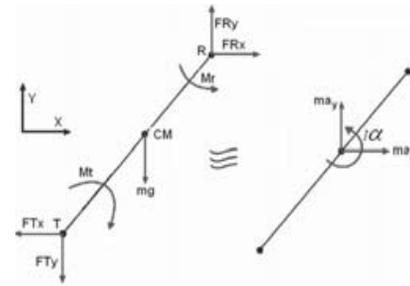


Fig. 2: Diagrama de cuerpo libre y cinético de un eslabón [7]

Para el análisis de la extremidad inferior durante el proceso de la marcha humana, se debe tomar en cuenta las dos fases más importantes durante el proceso de la marcha humana, la fase de balanceo y la fase de apoyo, a continuación se muestran los modelos a tomar para cada una de las etapas.

2.2 Modelo del doble péndulo invertido

Durante la fase inicial de apoyo o de respuesta a la carga, la masa corporal se desacelera controlando la flexión de la rodilla y el tobillo realiza una flexión plantar; se continúa después con la fase media de apoyo, en la cual ambos péndulos se encuentran en posición vertical (extensión de rodilla y cadera); se culmina con la fase final de apoyo, en la cual se produce una nueva flexión de la rodilla; en esta última fase, la función principal del miembro es prepararse para la oscilación o balanceo (figura 3).

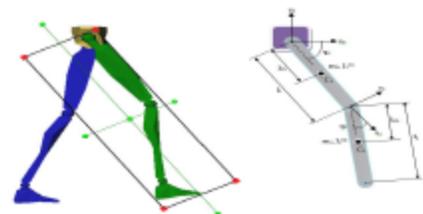


Fig. 3: Aplicación del modelo de doble péndulo durante la marcha [8]

2.3 Modelo del péndulo invertido fase de apoyo

En esta etapa, se presenta triple péndulo invertido, pues hay una interferencia significativa del tronco en esta fase de la marcha. En la figura 4, L_3 , L_4 y L_5 son longitudes de los segmentos, r_3 y r_4 y r_5 son las distancias entre el centro de masa y la articulación; m_3 , m_4 y m_5 son los centros de masa de cada segmento y θ_3 , θ_4 y θ_5 son los respectivos ángulos para cada una de las articulaciones.

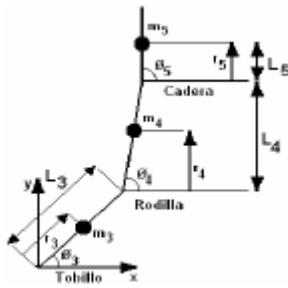


Fig. 4: Modelo de ensamble

En el modelo, los centros de masa de la extremidad inferior están concentrados en los centros de gravedad de cada uno de los segmentos y las masas de las articulaciones son despreciadas. Las coordenadas de referencias para la articulación de la cadera durante la fase de oscilación son fijas y lo mismo ocurre para la articulación del tobillo durante la fase de apoyo.

3. CLONACIÓN ARTIFICIAL EN INGENIERÍA

La metodología anteriormente mencionada, es de gran importancia, pero es evidente que precisa de un elemento físico, debido a esta necesidad, es imperioso aplicar la metodología a un hardware que permita su aplicación, tanto en la parte de aprendizaje (si se desea que este se haga directamente en el hardware) como su ejecución y reaprendizaje, para este objetivo, es necesario implantar una metodología de clonación artificial.

La metodología de clonación aquí propuesta, permite la replicación del movimiento de la pierna sana. Garantizando que la persona al caminar no cojee y ejecute su desplazamiento en forma normal, para esta metodología se proponen los siguientes pasos:

- Creación de los clusters.
- 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.

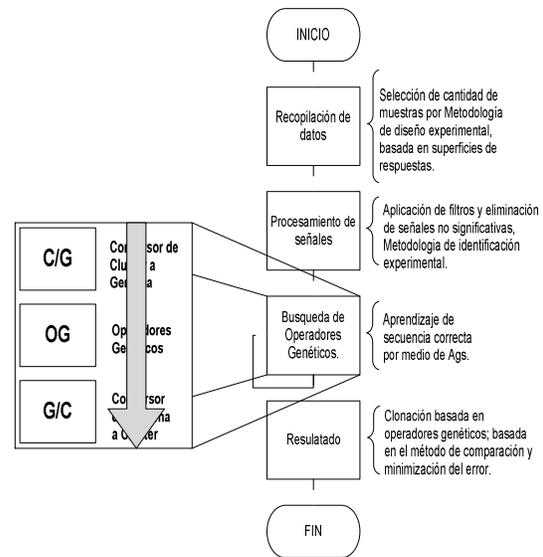


Fig. 5: Metodología de clonación

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, para el caso de la prótesis bioeléctrica estas muestras se van a tomar de las señales recibidas de los sensores, luego se amplifican, y se someten a un procesamiento digital para entregar la señal EMG ya filtrada como se muestra en la figura 6.

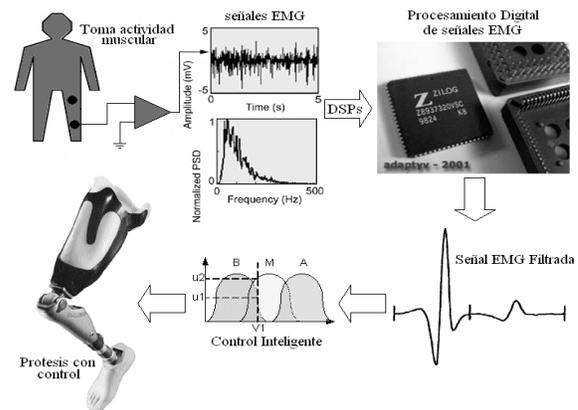


Fig. 6: Esquema general de sistema de control por clonación artificial

Las señales electromiográficas (EMG) son señales eléctricas producidas por un músculo durante el proceso de contracción y relajación.

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.

Para lograr los clusters es necesario, aplicar el “fuzzy c-mean” y de esta forma encontrar los respectivos "conjuntos naturales" de cada señal. El agrupamiento difuso (*Fuzzy c-mean*) o también llamado “Clustering”, es una metodología, que permite la partición del universo de discurso de una variable en diferentes grupos; el propósito de este agrupamiento es identificar los “grupos naturales” [10] de datos a lo largo de un “data set”, donde este grupo representa fielmente el comportamiento del sistema. Los clusters desarrollados en esta metodología tienen una representación (o se pueden reflejar) en conjuntos difusos, por lo que un valor V_1 se puede representar en n valores de pertenencia, donde n es el número de clusters de la variable en mención. Este procedimiento se aprecia en la 0.

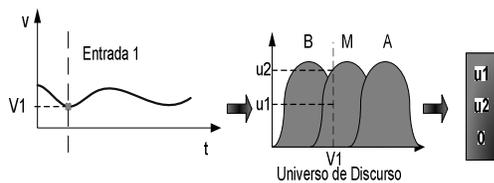


Fig. 7: Representación de Clusters difusos

Este procedimiento se repite para las entradas del sistema y para todas las salidas, pasando de una representación por valor a una representación por grado de pertenencia en los clusters, tal y como se aprecia en la figura 8.

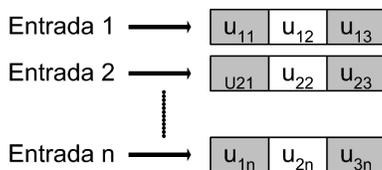


Fig. 8: Representación por Clusters

Definidos los valores de la entrada y salida, y colocados en términos de clusters, codificamos esta información en forma de cromosoma para su utilización en el algoritmo genético, para esta creación de cromosoma, fue implementada la visión dada por la referencia [10], en la cual se utiliza una división del cromosoma en antecedentes y consecuentes (AC), los antecedentes correspon-

den a las entradas del sistema, es decir, todas las diferentes variables que influyen en la inferencia de la o de las variables de salida, en esta sección también se pueden encontrar la información codificada de los clusters, grados de pertenencia, tipos de conjuntos difusos, entre otros. Los consecuentes del cromosoma contienen información que ha sido obtenida de los antecedentes, estas pueden ser, características estáticas y dinámicas [4], valor de salida propuesto, error estático y dinámico.

El procedimiento para encontrar los consecuentes es propio en cada sistema, pero es necesario saber, que esta información, como su nombre lo indica, es una consecuencia de la implementación de los antecedentes en el sistema, por lo que se debe tener especial cuidado en la elaboración de esta característica.

Los operadores genéticos, serán los encargados de hacer interactuar los cromosomas previamente armados, estas operaciones convertirán los cromosomas de entrada en cromosomas de salida, estos cromosomas de salida deben corresponder a una estructura de cromosoma AC, para lograrlo, la metodología de clonación dispone de una etapa de aprendizaje utilizando un método de comparación con el patrón, donde, evidentemente el patrón a utilizar como referencia es la señal de salida deseada; para lograr este objetivo, los operadores genéticos modifican la información, esto nos genera una pregunta, ¿Cuál debería ser la secuencia correcta?, ¿Qué operadores genéticos se deben utilizar?, ¿Cuántos operadores son necesarios?.

Para responder las preguntas anteriormente propuestas, es necesario implementar un algoritmo genético (AG), cuyo objetivo sea el encontrar una población óptima de secuencia de operaciones, las cuales serán evaluadas tomando en cuenta el valor deseado de salida y el número de operaciones genéticas (entre menos operaciones, mejor calificación tendrá el individuo).

El AG es el encargado de realizar la búsqueda de la correcta secuencia de operadores genéticos [5], que llevarán las entradas a la salida deseada, el procedimiento se ilustra en la figura 4. Las primeras etapas se enlistan a continuación.

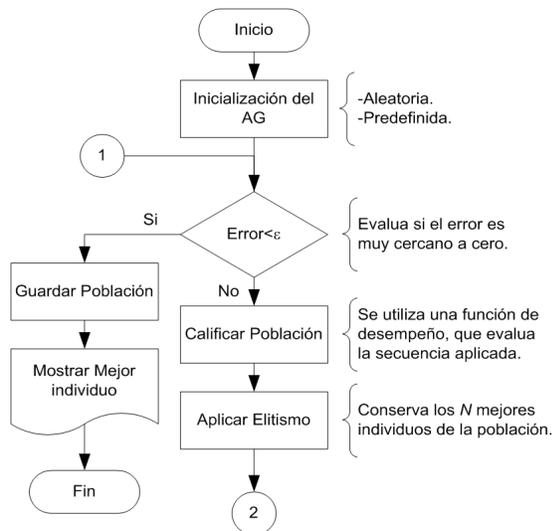


Fig. 9: Algoritmos genéticos

Con esto la información completa del mapa genético (genoma), es suficiente para el análisis aprovechando la potencialidad del software basado en algoritmos genéticos, con el cual se identifican los patrones de las señales EMG para realizar el control adaptativo de los movimientos de la extremidad inferior.

El empleo de técnicas de inteligencia artificial basadas en redes neuronales y computación evolutiva, garantiza la estrategia de accionamiento distribuido, y los operadores genéticos, la evolución de la técnica de control, para la replicación del comportamiento de la prótesis en el amputado.

4. HARDWARE EVOLUTIVO

El hardware evolutivo, es una herramienta necesaria para la implementación de la clonación artificial en ingeniería [1], las razones que fundamentan esta afirmación son varias, una de las más importantes, radica en la necesidad de aprendizaje del sistema, es evidente que el equipo desarrollado, sea sensor o controlador, va a funcionar por una cantidad de tiempo indeterminado, que en la mayoría de los casos se espera que sea un tiempo prolongado. Debido a esta situación es necesario prever que las condiciones, en las que fue “educado” el dispositivo, cambian o evolucionan, adicionando nuevas variables al proceso, lo que requeriría una adaptación del clon a su nuevo ambiente.

Para la implementación de un dispositivo o clon que aprenda periódicamente es posible que se haga

de dos formas, “*off-line*” o “*on-line*”, la primera de ellas consiste en detener el funcionamiento del clon, llevarlo a un laboratorio o unidad de aprendizaje e introducirle los nuevos parámetros vía software o hardware, el gran problema de esta concepción es que ciertamente se inducirán tiempos muertos en el funcionamiento del clon, es decir, el dispositivo estará fuera de funcionamiento cada vez que sea necesario (o el mismo dispositivo lo pida) un reaprendizaje, la totalidad de este tiempo será dada por la rapidez con la cual los encargados de realizar esta labor la cumplan, incluyendo factores humanos al proceso de aprendizaje, específicamente a los tiempos de los mismos.

En el aprendizaje “*On-line*”, pasa todo lo contrario, el dispositivo, activa su función de aprendizaje cada cierto periodo de tiempo y lo ejecuta paralelamente a su funcionamiento, evitando el tener que detener el proceso en el cual el clon forma parte, posterior a un tiempo de aprendizaje, el clon puede modificar su estructura (Hardware evolutivo) para ya sea permitir la entrada de una nueva configuración que el mismo pueda suplir, o modificar totalmente su estructura [2].

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 [2], lo que ha conllevado a los investigadores a interesarse en este de comportamiento y en ahondar en su estudio y evidentemente iniciar todo tipo de debates en el tema [3]; afortunadamente las células madres que en esta investigación se utilizan distan sustancialmente de la polémica ética y moral, pero aportan una valiosa información para el desarrollo de sistemas de alta tecnología, cerrando una nueva brecha entre la ciencia biológica y la ciencia tecnológica.

La célula madre que en este documento se desarrolla, es una unidad de procesamiento lógico digital, la cual, debido a su estructura puede modificar su comportamiento, gracias a la inclusión de una entrada denominada entrada de mutación, esta célula madre a diferencia de su homóloga en la naturaleza, no es capaz de replicarse a si misma, esta habilidad es reemplazada por la habilidad que poseerá el software para exigir la generación de nuevas células madres.

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*).

El diseño de circuitos digitales, entre los paradigmas ya propuesto se conocen los diseños de compuerta AND y OR y sus correspondientes inversores, NAND y NOR, con estos operadores básicos se puede diseñar cualquier clase de los circuitos lógicos existentes (OR, AND, XOR, NOT), por lo que estas 2 compuertas se pueden llamar las compuertas base de toda la lógica digital.

Centrando la atención en las compuertas NAND y NOR, la característica más importantes de estos operadores es que uno o cualquiera de los dos es el resultado de negar o invertir las entradas de señal del otro es por esto que el diseño del circuito evolutivo se enfocará en la implementación de estas dos compuertas.

Para este diseño se implementara una FPGA SPARTAN3 de XILINX que es muy comercial y de fácil acceso. El primer paso consiste en modelar la célula madre en la FPGA, debido a la sencillez del ejemplo, se trabaja en la modalidad “*schematic*” del software proporcionado por la compañía desarrolladora, esta visualización nos ayuda a observar y analizar de una mejor manera la célula madre.

Posterior a esta 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 10.

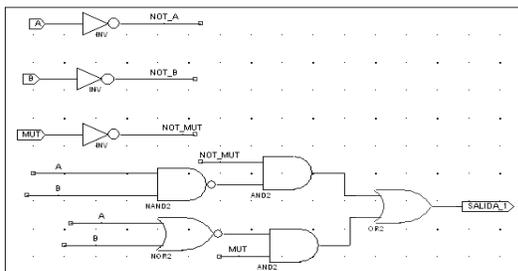


Fig. 10: Hardware Evolutivo

Como se puede observar, la célula madre puede trabajar tanto como NOR o NAND, dependiendo de su entrada de operador lógico mutable, lo que permite, al implementar una amplia cantidad de estas células, el desarrollo de una alta variedad de aplicaciones, así como igual número de arreglos lógicos. Esto se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 1: Operaciones célula madre

A	B	Mutación	Salida
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	0
0	0	1	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

5. SOFTWARE DESARROLLADO

El software que se desarrollo para la demostración de esta metodología utiliza datos de las variables del miembro inferior (prótesis) tales como posición, velocidad, fuerza-torque, los cuales afectan una variable denominada desempeño, 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 11, en donde se aprecia unas señales ya filtradas y listas para la implementación de la metodología.

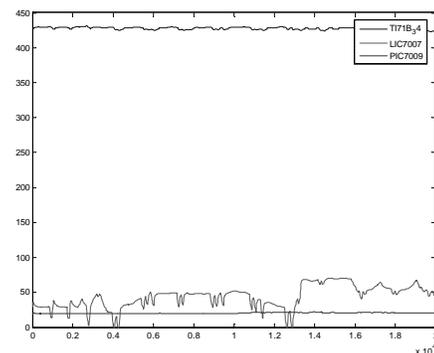


Fig. 11: Entradas del sistema

A las señales obtenidas anteriormente se les aplicó la metodología de clonación propuesta, sin conocer previamente las relaciones entre las variables de entrada y de salida.

Aplicando 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 Figura 11 y Figura 12 la evolución de esta población (200 individuos) en 350 generaciones es evidente, en la figura 12, 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 (12 horas).

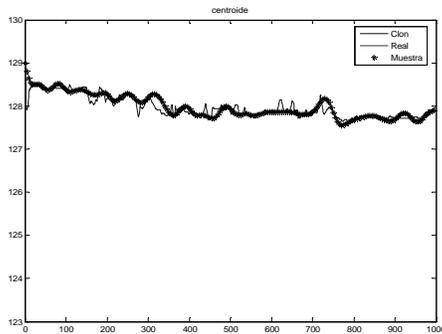


Fig. 12: Variable clonada vs Real

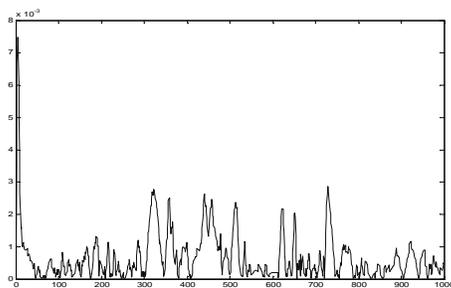


Fig. 13: Error de Clonación

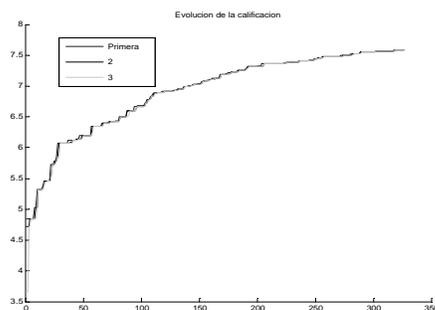


Fig. 14: Evolución de la calificación

Como se puede observar, 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 acá implementada no solo es válida para la obtención de clones en

ingeniería reduciendo costos a la industria y optimizando los recursos de las mismas.

5.1 Árboles de decisión

En el desarrollo de la investigación se encontró otra concepción para la implementación de la metodología planteada, esta es denominada los árboles de decisión, los cuales se aprecian en la Figura 15, estos al igual que los cromosomas anteriormente explicados, contienen información que permite la solución de problemas tipo SISO (*Simple Input Simple Output*) y MISO (*Multiple Input Simple Output*), esta representación se puede complementar con el uso de AG's, que permitan la generación de múltiples árboles y la selección de las mejores expresiones, para su posterior cruce y generación de nuevas poblaciones de árboles de decisión, que a su vez, crean nuevas expresiones que buscan la solución o la representación de un modelo matemático del sistema físico analizado.

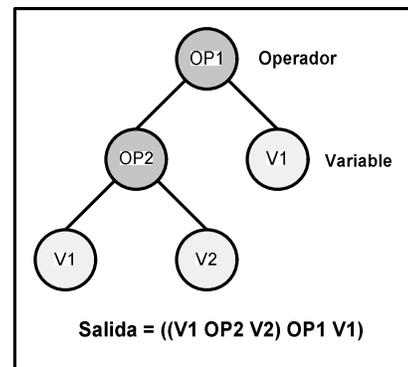


Fig. 15: Árbol de decisión

Como se aprecia en la figura 15, un árbol de decisión está conformado básicamente por dos tipos de unidades representativas, los operadores y las variables, los operadores se encuentran dentro del árbol, mientras que las variables se encuentran en el exterior del mismo, esta arquitectura permite la elaboración de expresiones que pretenden emular modelos matemáticos en busca de emular la salida del sistema. Algunos de los resultados aplicando esta técnica se aprecian en la figura 16 y en la figura 17, en donde se puede observar los resultados de aplicar árboles de decisión y AG's (1000 generaciones y un máximo de 5 niveles en el árbol); lo que permite encontrar valores de errores inferiores al 0.2%.

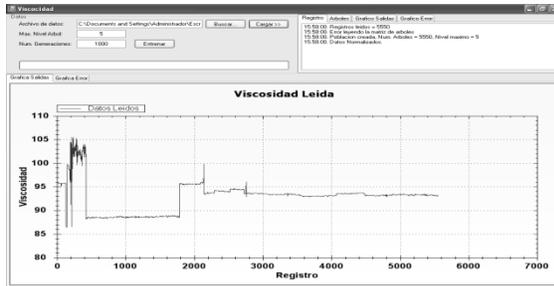


Fig. 16: Gráfica de la señal objetivo

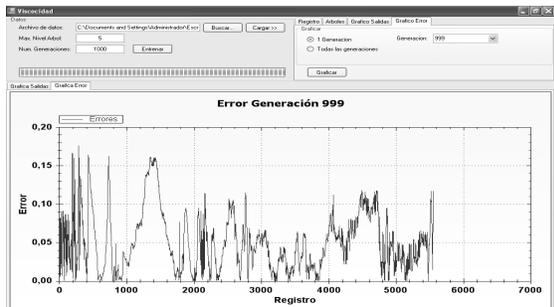


Fig. 17: Gráfica del error

6. CONCLUSIONES

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 movimiento de la pierna real, 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

- [1] Winter, D. A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Waterloo: Waterloo Press, 1991.
- [2] Russi, Pedro Carlos. *Estudo De Um Modelo Dinâmico Para Avaliação Física Do Corpo Humano*. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista, Sao Paulo, Brasil.
- [3] Vera Pérez, Fredy. *Sistema electrónico de clonación artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo*. Trabajo de grado, Universidad de Pamplona, 2006
- [4] Muñoz, A. F. *Sensórica e instrumentación, mecánica de alta precisión*. Editorial Pueblo y Educación, Habana, 1997.
- [5] Malavé Ninoska, Maneiro. *Algoritmos genéticos aplicados al problema cuadrático de asignación de facilidades*. Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela, febrero 2002.
- [6] Loyo De Sardi, Jaqueline. *Algoritmos Genéticos y Optimización en la Investigación de Operaciones. Caso: Problema de Optimización con Objetivos Múltiples Expresado como un Modelo de Programación No – Lineal por Metas*. Departamento de Computación, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Febrero 2002.
- [7] Contreras Bravo, Leonardo Emiro y Roa Garzón, Máximo Alejandro. *Modelamiento de la marcha humana por medio de gráficos de unión*.
- [8] Grosso, J. M. y Tibaduiza, D. *Diseño Conceptual de un exoesqueleto para asistir la Rehabilitación de Miembro Inferior*.
- [9] Boudouda, H.; Seridi, H. and Akdag, H. "The Fuzzy Possibilistic C-Means Classifier". *Asian Journal of Infomation Technology* 4 (11): 981-985, 2005.
- [10] Delgado, Alberto. *Inteligencia Artificial y Minirobots*. Ecoe Ediciones, 1998.