

Investigación de nuevos sistemas de medición y control basado en modelos de nanoenlaces para piel artificial utilizada en el recubrimiento de prótesis de pierna en discapacitados

Investigación en Curso

Juan Sebastian Niño Camargo
Programa Ingeniería Mecatrónica
Facultad Ing. Físicomecánicas
jnino774@unab.edu.co

Lemnec Elizauth Tiller Avellaneda
Programa Ingeniería Mecatrónica
Facultad Ing. Físicomecánicas
ltiller@unab.edu.co

Katherin Gutierrez Avila
Programa Ingeniería Mecatrónica
Facultad Ing. Físicomecánicas
kgutierrez@unab.edu.co

Carlos Fernando Gualdron
Programa Ingeniería Mecatrónica
Facultad Ing. Físicomecánicas
cgualdron845@unab.edu.co

Universidad Autónoma de Bucaramanga

RESUMEN

El presente trabajo contempla la investigación y el desarrollo de una nueva metodología basada en patrones de células madres y control mecatrónico de una prótesis bioeléctrica de miembro inferior para discapacitados de la violencia en Colombia; 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 para prótesis mecatrónica de piel artificial con nanopartículas que incluye algoritmos y sistemas genéticos aplicados en sistema de control en tiempo real obtenido por clonación artificial. En esta investigación la metodología pretende romper con el paradigma clásico de diseño desde la concepción del problema hasta su posterior desarrollo.

ABSTRACT

This paper deals with the research and development of new prototypes of intelligent systems for mechatronics control of a bioelectric prosthesis for inferior members to handicapped persons due to the violence in Colombia; 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 techniques applied to advanced real time control by artificial cloning for mechatronic prosthesis in the artificial skin with nanoparticles included algorithms and genetic's systems applied to advanced real time control by artificial cloning for mechatronic prosthesis in the artificial skin with nanoparticles. In the research the methodology wants to break up with the classic

Este material es presentado al *VI Encuentro Institucional de Semilleros de Investigación UNAB*, una actividad carácter formativo. La Universidad Autónoma de Bucaramanga se reserva los derechos de divulgación con fines académicos, respetando en todo caso los derechos morales de los autores y bajo discrecionalidad del grupo de investigación que respalda cada trabajo para definir los derechos de autor.

design paradigm from the problem conception until its later development.

Área de Conocimiento

Ingenierías.

Palabras Clave

Sensores inalámbricos y controladores, Genoma, replicación, inteligencia artificial, nanotransmisión de información, piel artificial, prótesis

1. INTRODUCCIÓN

Las futuras aplicaciones de la Nanotecnología requieren un conocimiento profundo de los aspectos teóricos y computacionales de todo tipo de materiales y dispositivos a escala manométrica. Numerosas áreas emergentes, tales como la electrónica molecular, nanobiotecnología, nanofotónica, nanofluidica o la computación cuántica van a dar lugar, a corto o medio plazo, al desarrollo de nuevos elementos de dispositivos basados en nanotecnología. La simulación teórica del comportamiento de estos dispositivos está siendo cada vez más importante ya que nos permitirá comprender las propiedades físicas y químicas involucradas, visualizar lo que ocurre dentro del dispositivo y optimizar el funcionamiento y la fabricación de éstos. La descripción teórica y el modelado de los nuevos nanodispositivos y los diversos fenómenos que ocurren en sistemas manométricos involucra, en la mayor parte de las ocasiones, conceptos, técnicas de cálculo, programas y códigos informáticos y aproximaciones teóricas que provienen de campos muy diversos (física de la materia condensada, química computacional, biofísica, matemáticas, óptica, ingeniería, etc.). Problemas que hasta hace unos pocos años no guardaban mucha relación, acaban por estar relacionados de una manera fundamental en el mundo de la nanotecnología. El modelado y la simulación de procesos es esencial para la integración entre las

escalas atómica y molecular, típicas de la nanociencia con el mundo micro, meso y macroscópico. El apoyo a la investigación y desarrollo de este campo es, por tanto, fundamental para el desarrollo de las aplicaciones industriales basadas en la nanociencia.

En la comunicación de la Comisión Europea titulada “*Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías* se recoge la siguiente definición: La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, así como a los principios científicos y a las nuevas propiedades cuando se interviene a dicha escala”.

Una de las características que hacen especialmente singular a esta tecnología es que numerosas propiedades físicas y químicas (elasticidad, color, conductividad eléctrica, reactividad química) de la materia cambian a escala manométrica, con un comportamiento diferente a como lo hacen a escala macroscópica. Fue Richard P. Feynman (Premio Nóbel de Física) en Diciembre de 1959, se cumple por tanto justo ahora el 50º aniversario, durante su famosa charla “*There is plenty of room at the bottom*” quien destacó la potencialidad que se esconde detrás de la posibilidad de trabajar con materiales, dispositivos, etc., a estas escalas. Sin embargo, no fue hasta 1971 cuando el término nanotecnología fue utilizado por primera vez por Norio Taniguchi, refiriéndose a la técnica aplicada en la maquinaria de ultra-precisión. Aún y así, el verdadero nacimiento de la nanociencia y la nanotecnología se produce con la invención del microscopio de efecto túnel en 1981 por Binnig y Rohrer.

2. OBJETIVOS

Desarrollar nuevos sistemas de medición y control basado en modelos de nanoenlaces de piel artificial para el recubrimiento de prótesis de pierna en discapacitados.

Investigar las propiedades de materiales con nanoenlaces y los métodos de medición y control on line y evaluar las características dinámicas de los sistemas objetos de investigación.

Desarrollar la metodología de diseño, implementación de nanoenlaces, para la captura, transformación, almacenamiento y extracción de datos, de la piel artificial para el recubrimiento de prótesis de miembro inferior.

Validar el procedimiento establecido en laboratorio con microscopio de efecto de túnel y elaborar los protocolos necesarios para la evaluación, seguimiento y comunicación por nanoenlaces de la información de los parámetros asociados a la sensibilidad de la piel artificial para prótesis avanzadas de pierna.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se llevará a cabo teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

- Definir el concepto y diseño del controlador a implementar
- Simulación
- Prototipo virtual
- Análisis del diseño
- Optimización del diseño
- Montaje físico (a largo plazo)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación se enfoca en 2 grandes fases, la fase 1 de investigación y desarrollo y, la fase 2, de implementación. La primera se basa en gran medida en el uso de software y hardware de simulación y control de procesos. La segunda en el diseño de procesos específicos, estudios de implantación, dimensionamiento y especificación de sistemas de control, entre otros aspectos.

El siguiente cuadro refleja el enfoque de la Fase 1, para desarrollar el prototipo experimental dónde se desarrollan procedimientos avanzados para llevar a cabo el proceso de diseño con alta tecnología y evaluación de los resultados.

La figura muestra un esquema general del método y procedimientos, durante la ejecución del proyecto de investigación; en la etapa de Concepto y Diseño, se establece el estado del arte, con el fin de obtener conocimiento suficientes sobre las variables que intervienen en el análisis y evaluación del comportamiento de las estructuras de pavimentos, que incluye los parámetros a medir especificados en el alcance de la consultoría; luego se analizan las técnicas de adquisición de datos, estudio del comportamiento y recomendaciones para el diseño.

La etapa de **Diseño, Análisis y Optimización** es la más relevante de la metodología y la conforman varios procedimientos, tales como:

Modelación: Modelos de Nanoenlaces de piel artificial para el recubrimiento de prótesis avanzadas de mano y pierna.

Simulación de Prototipos: Se desarrolla los modelos nanotecnológicos para evaluar en tiempo real el comportamiento de la piel artificial.

Diseño y análisis de los sistemas de medición: Se desarrolla el diseño y se valida a escala de laboratorio con microscopio de efecto de túnel, se realizan pruebas para evaluar el comportamiento dinámico de la piel artificial objeto estudio.

Optimización del Diseño: Se procede a realizar las pruebas de los métodos de medición, adquisición, tratamiento de señales, comunicaciones y registro evaluado en prototipos de membranas de piel artificial dotado de Nanoenlaces.

La siguiente etapa corresponde al prototipo físico, a través de los cuales se procesan las variables y los resultados de la simulación, y se realiza el análisis y optimización del prototipo obtenido.

La última etapa es la del producto final y corresponde al diseño integral a escala real del prototipo desarrollado y el control de calidad de los procedimientos para la obtención del mismo.

Para la fase 2 el enfoque se basa en los conceptos de la ingeniería básica, de detalle, de apoyo y supervisión.

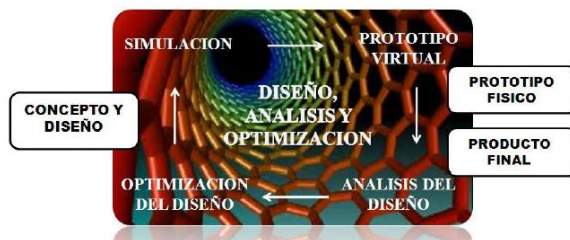


Figura 1. Diagrama de Bloques de la metodología

5. MODELAMIENTO MATEMATICO

El objetivo fundamental en la detección y registro de la señal en la piel artificial proveniente de la aplicación de nanopartículas, son las ondas que se producen en la membrana del cuerpo P y S. La onda P se produce por el cambio de volumen y la onda S por el cambio de la forma de la piel. La onda P se presenta produciendo en el material dilataciones–compresiones a lo largo de la dirección de propagación. La onda S se comporta produciendo en el material desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación. En la figura 1 se puede observar estas propiedades de las ondas P y S perpendiculares a la dirección de propagación. En la figura 1 se puede observar estas propiedades de las ondas P y S.

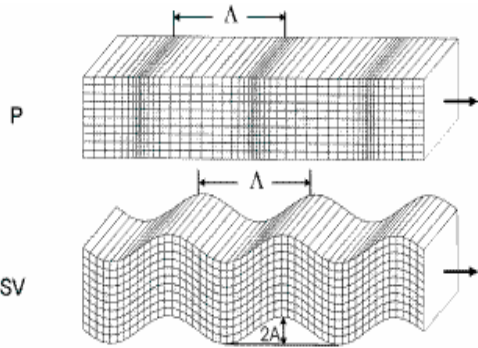


Figura 1. Comportamiento por flexibilidad de la piel artificial ondas P y S

Se aplican dos tipos de nanosensores para medir el movimiento producido por las ondas de la piel artificial:

- Sensores magnetostrictivos, que miden el movimiento de un punto de la membrana relativo a otro punto.
- Sensores inerciales, magneto-resistivos los cuales miden el movimiento de la piel utilizando una referencia inercial (una masa que tiene un acoplamiento débil con la membrana). Para los sistemas magneto-resistivos en el enrollado primario se aplica normalmente un voltaje alterno sinusoidal de 3 a 15 V (valor efectivo o RMS) y una frecuencia entre 60 y 20000 Hz. En los enrollados secundarios se induce una corriente de la misma frecuencia, pero cuya amplitud varía con la posición del núcleo de hierro que acarrea la información del desplazamiento $x(t)$ que se desea medir. La conexión de los enrollados y el potencial de salida son nulos. En otra posición, una inducción aumenta mientras la otra disminuye, produciéndose un potencial prácticamente proporcional al desplazamiento. El voltaje e_0 generalmente no está en fase con e_i y cada transformador diferencial dependiendo de la magnitud de sus parámetros, tiene una frecuencia a la cual el desfase no existe. Esta frecuencia generalmente se especifica por el fabricante. En algunas aplicaciones es importante eliminar el desfase y por esto se determinará ahora analíticamente el comportamiento de un sensor inercial basado en transformador diferencial lineal variable con un instrumento de medición (puramente resistivo) acoplado utilizando el circuito de la figura 9.

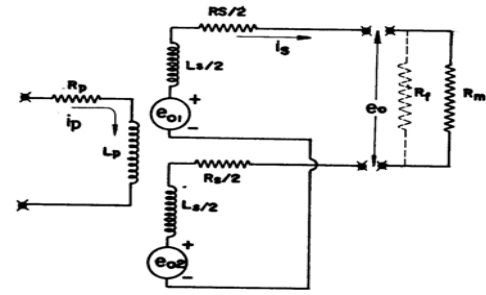


Figura 2. Esquema eléctrico del sensor inercial.

En el mencionado circuito se ha representado la resistencia R_p y la inductancia L_p del primario, así como la resistencia $R_s/2$ y la inductancia $L_s/2$ de cada enrollado secundario (los dos son iguales). Se incluye el instrumento de medición, asumiendo su impedancia R_m puramente resistiva. Los voltajes inducidos en cada enrollado secundario aparecen como “generadores” de voltaje. El voltaje inducido en cada enrollado depende de la inducción mutua A y la razón de cambio de la intensidad de la corriente en el primario.

$$e_{o1} = A_1 \frac{di_p}{dt}; e_{o2} = A_2 \frac{di_p}{dt} \cdot [V] \quad (1)$$

Las inducciones mutuas dependen del desplazamiento $x(t)$ según

$$A_1 - A_2 = Qx(t) \cdot [H] \quad (2)$$

La constante $Q(H/m)$ depende de la construcción del instrumento.

Para el circuito de la figura 4 se puede escribir las siguientes ecuaciones

$$e_i - i_p R_p - \frac{di_p}{dt} L_p = 0; \quad (3)$$

$$e_{o1} - e_{o2} - i_s (R_s + R_m) - \frac{di_s}{dt} L_s = 0; \quad (4)$$

$$e_o = i_s R_m \quad (5)$$

En la ecuación (23) correspondiente al enrollado primario, no se ha incluido el potencial $(A_1 - A_2)(di_s/dt)$ inducido por la corriente en el secundario, debido a que se asume que esta intensidad no es elevada y, por lo tanto, el potencial que induce es pequeño comparado con e_i . Resolviendo el sistema formado por las ecuaciones (2), (3), (4) y (5) y aplicando la transformación de Laplace se obtiene

$$\frac{e_o(S)}{e_i(S)} = \frac{A_1 - A_2}{R_p \left(1 + \frac{R_s}{R_m}\right)} \frac{S}{(1 + \tau_s S)} \quad (6)$$

Sustituyendo la S por $i\omega$ para hallar la función respuesta frecuencias se tiene

$$\left| \frac{e_0}{e_1}(i, \omega) \right| = \frac{(A_1 - A_2)\omega_n}{R_p \left(1 + \frac{R_s}{R_m}\right)} \cdot M \quad (7)$$

$$\phi = \arctan \frac{1 - a^2}{2\xi a^2}$$

$$M = \frac{a}{\sqrt{(1 - a^2)^2 + (2\xi a)^2}}, \quad a = \omega/\omega_n$$

$$\tau_p = L_p/R_p; \quad \tau_s = L_s/(R_s + R_m)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{\tau_p \tau_s}}; \quad \xi = \frac{(\tau_p + \tau_s)}{2} \sqrt{\frac{1}{\tau_p \tau_s}}$$

En la ecuación (7), M es la ganancia del sistema.

El modulo y la fase de la función respuesta de la frecuencia se observa en la figura 10. Se nota claramente que el desfase es pequeño en la zona donde la frecuencia del voltaje de alimentación es igual a la frecuencia natural del sistema. Es esta la frecuencia óptima de alimentación. En la ecuación (7) se indica el valor de la frecuencia natural, que depende de las constantes de tiempo del primario y del secundario. Pero la constante de tiempo secundario depende de la impedancia R_m del metro. Entonces, la frecuencia natural no depende solamente del sensor inercial, sino también del instrumento de medición.

Para eliminar esta ambigüedad se puede colocar una resistencia R_f en el circuito (indicada con línea de trazos en la figura (4)). Si R_m es mucho mayor que R_f , entonces se puede reemplazar R_m por R_f en todas las ecuaciones precedentes. Se garantiza así que los parámetros sean una propiedad del sensor, desde luego, se debe tener cuidado de colocar un instrumento de medición con una impedancia de entrada R_m , al menos 20 veces mayor que R_f .

Las resistencias de los tensoelementos metálicos tienen valores estandarizados de 120; 350; 600 y 1 000 Ω . La tolerancia se especifica; por ejemplo $120 \pm 0.25\Omega$. La linealidad es de hasta un 0,1% hasta 4 000 $\mu\epsilon$ y no menos de un 1% hasta 10000 $\mu\epsilon$.

El $\mu\epsilon$ (microdeformación) es una unidad adimensional de deformación longitudinal unitaria que quiere decir que $\epsilon = 10^{-6}(\text{m/m})$ o (mm/mm) o (cm/cm) , etc. La deformación para romper los tensoelementos metálicos está entre 20 000 y 25 000 $\mu\epsilon$. La vida útil de los tensoelementos, sometidos a cargas cíclicas (fatiga), es de 10^7 ciclos completos, si las deformaciones no exceden los 1 000 $\mu\epsilon$. Existen tensoelementos especiales capaces de resistir deformaciones relativamente grandes, como por ejemplo, después de la zona de fluencia. Estos últimos resisten deformaciones del orden de los 100 000 $\mu\epsilon$.

La corriente máxima que debe circular por un tensoelemento metálico depende de la disipación de calor en el punto donde se ha pegado este, pero 30 mA es una cifra prudencial.

Para los tensoelementos semiconductores la resistencia es de 12 Ω , la linealidad dentro de un 1%, hasta 1 000 $\mu\epsilon$, la deformación de rotura, aproximadamente de 5000 $\mu\epsilon$ y la vida útil, sometidos a fatiga, es de 10^6 ciclos. Generalmente los tensoelementos semiconductores han de ser usados cuando sea imprescindible, como la situación de medir deformaciones extremadamente pequeñas. La menor deformación que se puede medir con tensoelementos metálicos es de orden de 0,1 $\mu\epsilon$ y con tensoelementos de semiconductor del orden de 0,001 $\mu\epsilon$.

Con los tensoelementos de la figura 24 se mide la deformación unitaria ϵ_x , en la dirección longitudinal, que se le designará ahora como la dirección x . Para calcular el esfuerzo normal en la dirección x , es necesario conocer a priori que no hay esfuerzo normal en la dirección y , como en el caso de una barra sometida a tracción o compresión. Entonces, para un material elástico con módulo de elasticidad E (Pa) y dentro de la zona elástica se tiene

$$\sigma_x = E \epsilon_x \quad [\text{Pa}] \quad (8)$$

Si no se estuviese seguro de la ausencia de σ_y , se colocaría otro tensoelemento en la dirección y , de forma que su eje tendría 90° con respecto al eje del primer tensoelemento. Ahora se tendría las lecturas ϵ_x y ϵ_y . Recordando la ley de Hooke generalizada se tiene que

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_y + \sigma_y); \quad (9)$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_x); \quad (10)$$

La letra griega μ representa el coeficiente de Poisson del material (se supone que no se excede el límite elástico). Aquí $\sigma_x = 0$. Entonces, despejando los esfuerzos se obtiene

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2}(\epsilon_y + \epsilon_y); \quad (11)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2}(\epsilon_x + \epsilon_x); \quad (12)$$

De esta forma se puede determinar los esfuerzos normales en las dos direcciones.

Se observa que se trata de un sistema de segundo orden con dos constantes de tiempo reales. Entonces este sistema no puede ser subamortiguado. Si las dos constantes de tiempo son iguales, la relación de amortiguamiento vale 1 y la ecuación (26) describe un sistema con amortiguamiento crítico.

La Figura. 5 presenta las curvas del módulo y la fase de la ganancia para una relación de amortiguamiento unitaria. En el vecindario de la resonancia la ganancia es 0,5 y la fase aproximadamente 0 grados angulares.

Si se dispone de un sensor inercial se puede introducir una senoide en la entrada por medio de un generador de sinusoidales y variar la frecuencia de la señal hasta que la amplitud del voltaje en la salida sea un máximo.

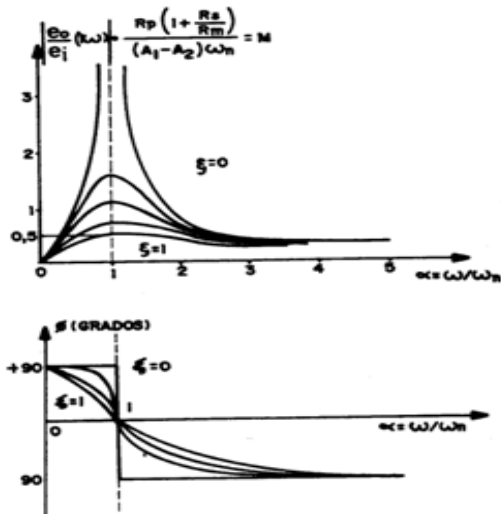


Figura 3. Módulo y fase de la función respuesta de frecuencias

Si en la práctica no se pudiese despreciar el efecto de la autoinducción sobre el primario, el sensor inercial se debe alimentar con una frecuencia dada.

Como parte de las investigaciones del Grupo de Control y Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga en Santander Colombia, se ha desarrollado una prótesis de pierna utilizando células madres mecatrónicas, obtenidas por bioingeniería y clonación artificial. El prototipo construido contempla la investigación y el desarrollo de una prótesis inteligente de miembro inferior, obtenidas por clonación artificial, basados en patrones de células madres, equipándola con un sistema de adquisición de datos que toma las señales de la pierna sana durante su movimiento y luego son replicadas con un entrenamiento por aprendizaje con técnicas de inteligencia artificial e imitadas por clonación artificial en la prótesis,

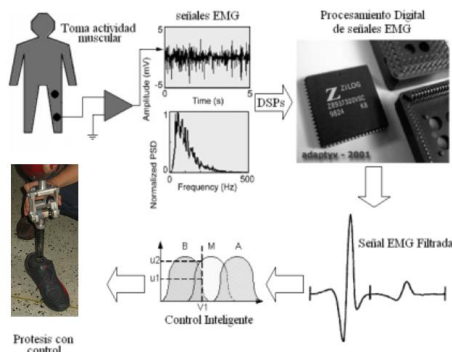


Figura 4 Procedimientos de diseño del Prototipo de prótesis

donde se replicar el comportamiento a partir de las células madres, soportadas en sistemas mecatrónicos (patrones de imitación de sensores de movimiento- controlador inteligente- articulación), como parte de los procedimientos de diseño basados en clonación artificial .

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.



Figura 5. Metodología de desarrollo del proyecto

2. METODOLOGÍA BASADA CÈLULAS MADRES

El dispositivo clonado, ya no precisa de una etapa de aprendizaje, esta 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 y como respaldo para el sistema en una etapa final de implantación, la 0, muestra un resumen de la operación del sistema clonado, en esta ilustración se aprecia, como las entradas son convertidas, gracias al “Fuzzy c-mean” en clusters difusos y estos a su vez son reflejados en conjuntos difusos.

Posteriormente, se convierte la información de los conjuntos, de las características de las señales en los respectivos cromosomas, estos cromosomas, como se aprecia en “¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.” contienen antecedentes y consecuentes.

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 defusificación 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.

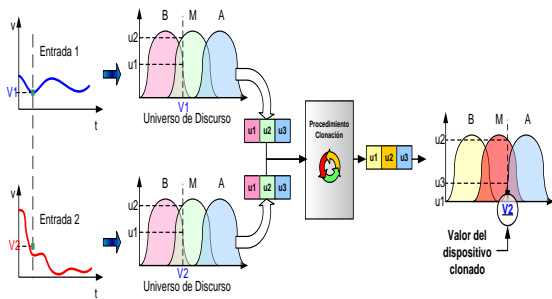


Figura 6. Procedimiento de clonación

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

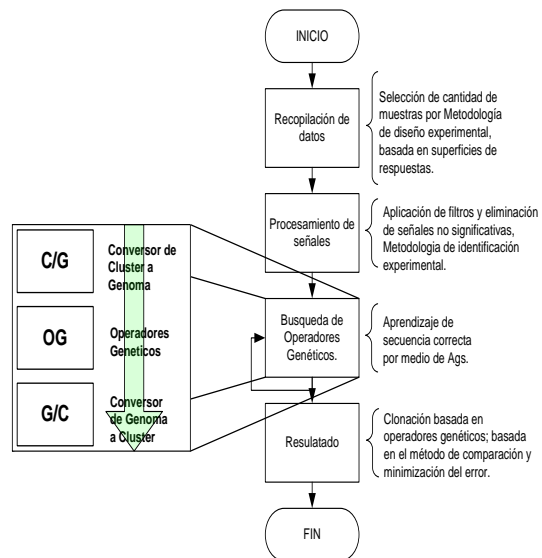


Figura 7. Metodología de clonación

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 8.

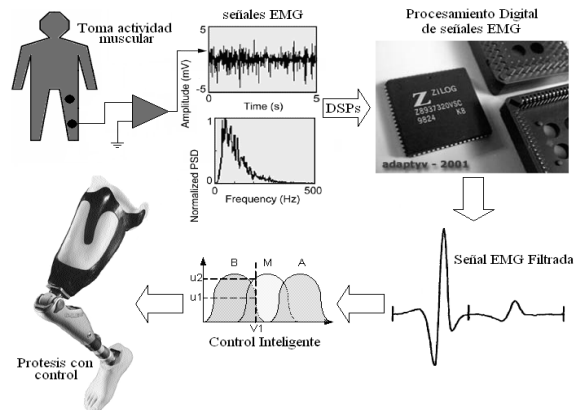


Figura 8. Esquema general de sistema de control por clonación artificial

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.

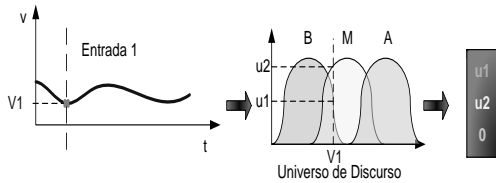


Figura 9. Representación de Clusters difusos

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 clústeres,

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 corresponden a las entradas del sistema, es decir, todas las diferentes variables que influyen en al 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 del 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 consecuencial 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 primeras etapas se enlistan a continuación.

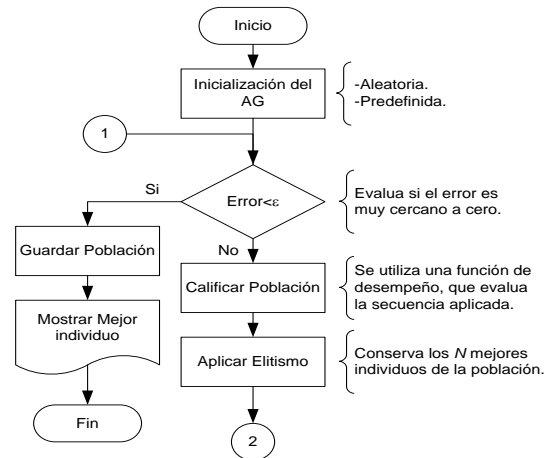


Figura 10. Algoritmos genéticos

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, 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 11.

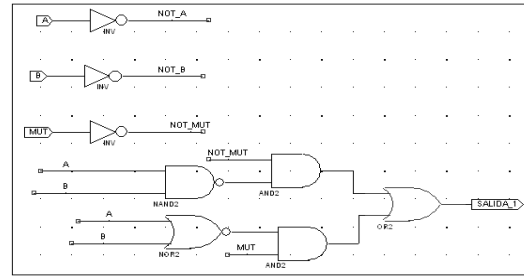


Figura 11. Hardware Evolutivo

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.

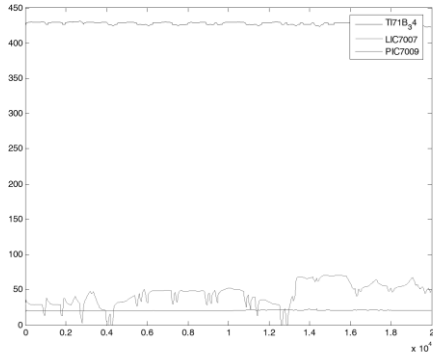


Figura 12. Entradas del sistema

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 Figura 11 y Figura 12 la evolución de esta población (200 individuos) en 350 generaciones es evidente, en la Figura 13, 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).

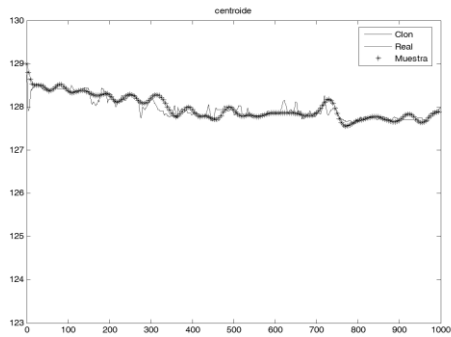


Figura 13 Clonada Vs Real

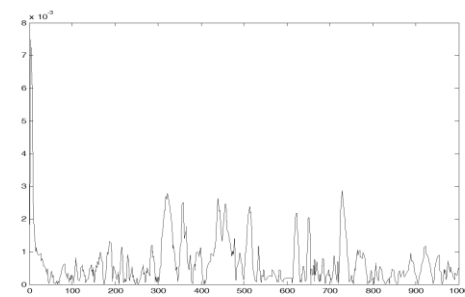


Figura 14. Error de Clonación

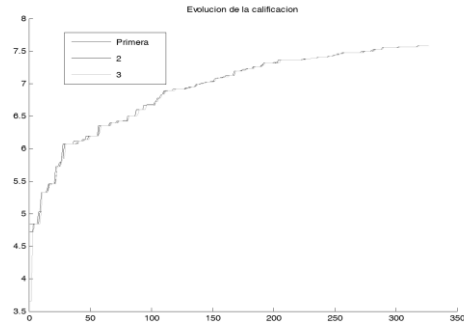


Figura 15. Evolución de la calificación

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 valida para la obtención de clones en ingeniería reduciendo costos a la industria y optimizando los recursos de las mismas.

5.1.1. 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.

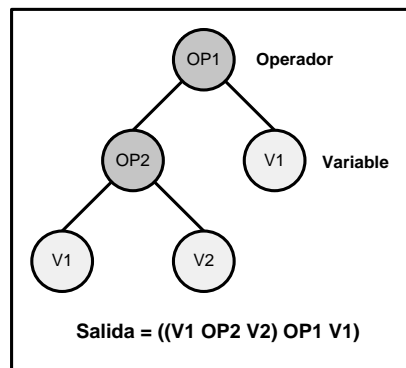


Figura 16. Árbol de decisión

Como se aprecia en la figura 15, un árbol de decisión esta 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%.

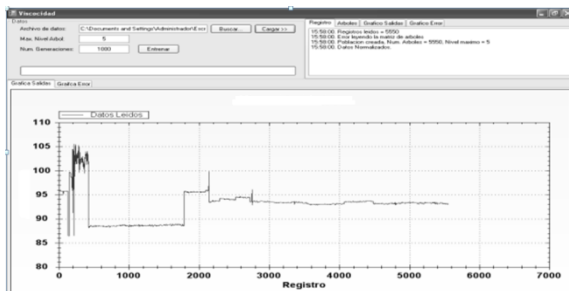


Figura 17. Gráfica de la señal objetivo

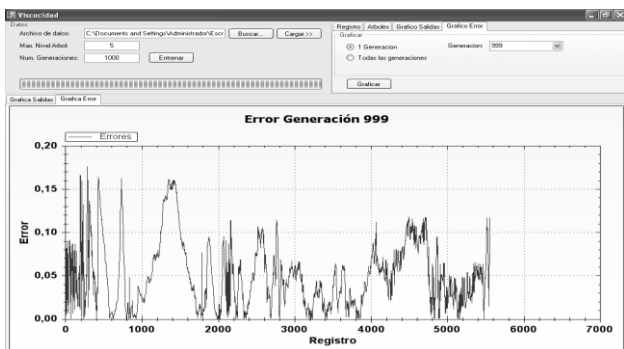


Figura 18. Gráfica del error

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.

6. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	INSTRUMENTACIÓN & CONTROL
Tutor del Proyecto	DR. ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ
Grupo de Investigación	CONTROL Y MECATRÓNICA
Línea de Investigación	CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

6.1. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

ACTIVIDAD		DURACIÓN (MESES)					
		1	2	3	4	5	6
Concepto y Diseño	Recopilación Bibliográfica.						
	Analizar el comportamiento						
Diseño, Análisis y Optimización	Estudiar y analizar las técnicas de control.						
	Implementar el prototipo simulado						
Prototipo Físico	Diseño y evaluación del Modelo de control de los sistemas...						
Producto Final	Elaboración de un modelo a escala para estudiar comportamiento de los sistemas						
	Documentación del Proyecto sobre la metodología de diseño de los sistemas de control						

7. REFERENCIAS

- [1] Serrano Herrera M *Nuevos sensores sismológicos basados en la nanotecnología* Dpto. Habana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. La Lisa, La Habana, Cuba
- [2] Jiménez Calderón C. *Investigación Tecnológica en Ingeniería*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú. 2009
- [3] Vera Perez F. *Sistema electrónico de clonación artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo*. trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico. Universidad de Pamplona. 2006
- [4] Muñoz Antonio F. *Sensorica e instrumentación, Mecánica de Alta precisión*. Pueblo y educación. 1997
- [5] Wolf .S, y D. Treger. 2007. *Spintronic: A new paradigm for electronics for the new millennium*. IEEE Transactions on Magnetics 36:2748.