

**ON LINE AUTOMATIC CONTROLLER FOR COMPOSITION IN  
CONTINUOUS MEANS OF AMONICALS CARBONATES LIQUORS OF THE  
Ni AND Co SEPARATION PLANT BASED ON ARTIFICIAL CLONING OF A  
CONCENTRATION SENSOR AND HIS ASSOCIATE PARAMETERS**

**CONTROLADOR AUTOMATICO ON LINE DE LA COMPOSICION EN  
MEDIOS CONTINUOS DE LICORES CARBONATO AMONIACALES DE LA  
PLANTA DE SEPARACION DE Ni Y Co BASADOS EN CLONACION  
ARTIFICIAL DE UN SENSOR DE CONCENTRACION Y SUS PARAMETROS  
ASOCIADOS**

**PhD. Antonio Faustino Muñoz Moner\*, MSc. Jorge Luis Díaz Rodríguez\*\*  
PhD. Aldo Pardo García\*\***

**\*\*Universidad Autónoma de Bucaramanga**

Laboratorio de Computo Especializado- Grupo de Control & Mecatrónica  
E-mail: amunozm@unab.edu.co

**\*\*Universidad de Pamplona**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.  
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156.  
E-mail: {apardo13, jdiazcu}@unipamplona.edu.co

**Abstract:** This paper deals with the particularities of an automatic controller for instrumental analysis on-line in continuous stream flows of carbonate-ammonia liquors and pulps, which use the special sampler join into the technological line. The controller was designed and built to be used artificial cloning process in the nickel industry.

**Resumen:** El trabajo muestra los resultados de la investigación sobre el desarrollo de sistemas de medición y control avanzados para la Planta de Separación de Ni y Co, basado en la clonación artificial de un sensor de composición química on line y el control inteligente de los parámetros asociados al transductor-analizador.

**Keywords:** Composition on line automatic controller in continuous means, Sensors and controllers artificial cloning, Genetics controllers, Advance composition analyzers.

## **1. INTRODUCCION**

La industria cubana del níquel, basada en la explotación de yacimientos lateríticos, posee una rica experiencia de más de 50 años, y en las fábricas que explotan estos yacimientos se han seguido criterios análogos, observando las características propias de los mismos, equipamiento

minero y proceso metalúrgico [18] y [42]. Esto es de vital importancia, pues junto a la existencia de centros como el *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa* y el Centro de Investigaciones de las Lateritas de Moa, provincia de Holguín - Cuba, que se dedican especialmente al estudio de la explotación óptima de estos yacimientos, a la búsqueda de información actualizada y al

intercambio científico - técnico con especialistas y centros análogos cubanos y extranjeros, se dispone de un significativo nivel de conocimiento teórico y práctico sobre este tema.<sup>1</sup>

*“En la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal aplicada en la industria cubana del níquel, la precipitación de cobalto en forma de sulfuros constituye una de las etapas del proceso tecnológico, la cual se caracteriza por una baja eficiencia de la precipitación de cobalto y una alta relación níquel /cobalto en el sulfuro”.*

El carácter específico del planteamiento y la solución del proceso de separación de níquel y cobalto están determinados por las particularidades del esquema tecnológico – operacional de precipitación de níquel y cobalto en la Planta de Cobalto de la fábrica y los métodos de control sobre el desarrollo del mismo. Los licores carbonato – amoniacales de la lixiviación y los reactivos (hidrosulfuro de amonio y semillas) en la refundición de metálica durante la sedimentación de sulfuros, es sometida a un tratamiento hidroquímico. Aquí se utilizan el reactor tubular y el sedimentador, y su conexión se efectúa a través de la recirculación potente fundamentada en el envío de semillas de la descarga del sedimentador hacia la entrada del reactor tubular, esta recirculación origina un lazo de retroalimentación a causa del cual, desde el punto de vista de dirección, todo el complejo productivo del proceso de separación de níquel y cobalto debe ser analizado como un objeto único dirigible multidimensional.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 La Planta de Separación de Ni y Co

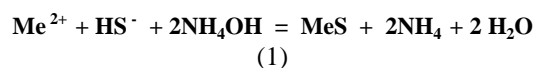
Las investigaciones experimentales del proceso de separación de níquel y cobalto a partir de los licores carbonato – amoniacales se llevaron a cabo en la instalación experimental, equipada especialmente para el estudio de la influencia de la variación de los principales factores tecnológicos de los gastos de reagentes y semillas sobre la cinética del proceso de sedimentación de sulfuro de níquel y cobalto. La selectividad de la sedimentación de cobalto (relación del níquel respecto al cobalto en el licor), el nivel de extracción. El análisis de los resultados de las investigaciones sobre los datos experimentales

posibilitó plantear las principales regularidades del proceso de separación de níquel y cobalto y valorar, en forma de pronóstico, sus perspectivas tecnológicas.

### 2.2 Estudio de la cinética de la sedimentación selectiva de sulfuros de cobalto a partir de los licores carbonato – amoniacales

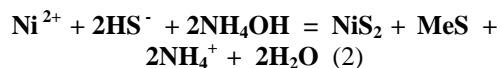
El sentido de la cinética de la sedimentación selectiva de sulfuros de cobalto está dado por la necesidad de determinar la velocidad de la reacción de la formación de la fase sólida del sulfuro de cobalto **CoS** con el contenido mínimo de sulfuro de níquel, a partir de las disoluciones carbonato – amoniacales que contienen níquel. En estas disoluciones, la reacción de sus concentraciones ocupan el 40/1:50/1 por los datos obtenidos en la fábrica “Rene Ramos Latour” de Nicaro - Cuba. Partiendo de los razonamientos teóricos acerca de la sedimentación de los metales en forma de sulfuros puede afirmarse que el desprendimiento de los sulfuros poco solubles de cobalto está relacionado estrechamente con la composición del licor, en particular depende de su **pH** siendo esta magnitud en los licores industriales de la fábrica de Nicaro constantes y con un valor igual a diez. Si ésta magnitud se encuentra entre 9 y 11 existe entonces, ventajosamente, iones de **HS<sup>-</sup>**.

La reacción fundamental de sedimentación de sulfuro de níquel y cobalto a partir de los licores carbonato – amoniacales está representada de la siguiente forma:



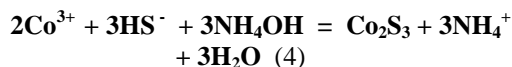
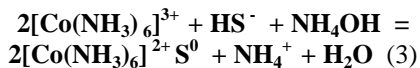
Pero el análisis rengteno – estructural de fase de las muestras de concentradores sulfurosos obtenidos a partir de los licores amoniacales mostrando que:

- El níquel en las muestras está presente en la fase predominante de **NiS<sub>2</sub>** estructura cúbica lo que atestigua acerca de cómo transcurre la reacción:



- El cobalto esta presente en forma de **CoS** de estructura hexagonal además de las reacciones mencionadas anteriormente, junto con el proceso ocurren las reacciones siguientes:

<sup>1</sup> Tecnología de control con análisis instrumental on-line.



El cobalto se sedimenta en un mayor grado con respecto al níquel a partir de los licores carbonato – amoniacales, a esta conclusión se llega a partir de las magnitudes de multiplicación de las solubilidades de los sulfuros de níquel y cobalto.

En medio acuoso (agua):

$$L \text{ NiS} = [\text{Ni}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 1.10^{-21}$$

$$L \text{ CoS} = [\text{Co}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 1,8.10^{-22}$$

$$L \text{ Co}_2\text{S}_3 = [\text{Co}^{3+}]^2 [\text{S}^{2-}]^3 = 1,21.10^{-126} \quad (5)$$

En el medio amoniacal se debe tener en cuenta la inestabilidad de los complejos:

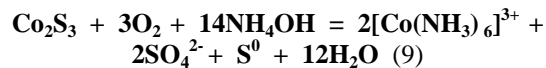
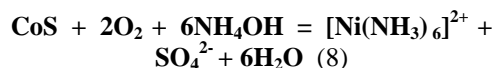
$$\frac{[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}}{[\text{Ni}^{2+}][\text{NH}_3]^6} / \frac{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}}{[\text{Co}^{2+}][\text{NH}_3]^6} = \frac{(k_2 L \text{ NiS})}{(k_1 L \text{ CoS})} = 2.4.10^4 \quad (6)$$

Por eso, en el licor se queda una gran parte del níquel se sedimenta en primer lugar el cobalto. El cobalto de valencia 3 ( $\text{Co}^{3+}$ ) origina complejos amoniacales del tipo:  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , entonces:

$$\frac{[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}}{[\text{Ni}^{2+}][\text{NH}_3]^6} / \frac{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}}{[\text{Co}^{2+}][\text{NH}_3]^6} = \frac{(k_2 L \text{ NiS})}{(k_1 L \text{ Co}_2\text{S}_3)} = 1.4.10^{78} \quad (7)$$

El obtenido habla acerca de que en el medio amoniacal, en presencia de iones de cobalto y níquel de valencia dos y tres ocurre la reacción (7).

En las figuras 7 y 8 se muestran las características cinéticas, la variación del contenido residual del cobalto en el licor dentro del reactor tubular. En el tiempo de llegada de la pulpa al espesador, después de su salida del reactor tubular, ocurre el paso inverso al licor del cobalto. Este fenómeno está relacionado con que la fase líquida (el licor) contiene una pequeña cantidad de oxígeno disuelto; esto origina una oxidación de sulfuros de cobalto mediante la reacción:



En las figuras 1-5 se muestra la relación de equilibrio de la composición residual de cobalto en el licor y el gasto de semillas a diferentes concentraciones de cobalto en licor inicial.

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

#### Influencia del gasto de reactivos sobre el proceso de separación de cobalto.

La influencia del gasto de reactivo para la sedimentación de sulfuros de cobalto está relacionada estrechamente con la concentración de este elemento en el licor carbonato – amoniacal que entra al reactor.

En las figuras 1-5 está mostradas las dependencias de la variación del contenido residual de cobalto de la fase inicial de la pulpa proveniente del reactor (en el licor) respecto al gasto de reactivos para diferentes gastos de semilla (concentrados de sulfuro de níquel y cobalto) y el mantenimiento del contenido residual de cobalto en el licor a una concentración determinada.

Estas dependencias que fueron estudiadas para diferentes concentraciones de cobalto en el licor inicial muestran que la concentración del cobalto residual en el licor disminuye proporcionalmente con el aumento de los gastos de reactivos; y teniendo en cuenta que mientras más grandes sea el gasto de semillas, menor es la necesidad de gastos de reactivos para mantener constante una determinada concentración de cobalto residual en el licor.

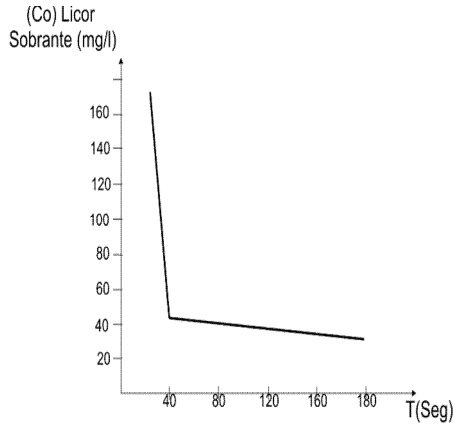


Fig. 1: Relación cinética de la variación del contenido de  $Co^{+3}$  residual para la sedimentación en el reactor tubular

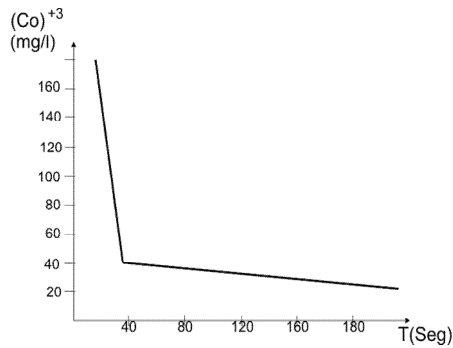
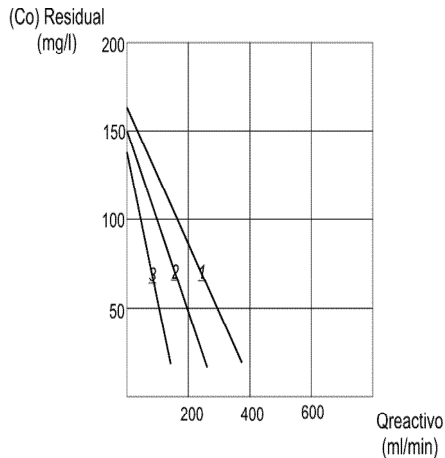
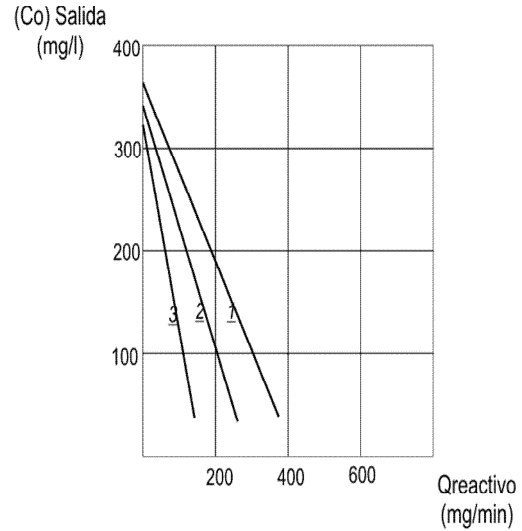


Fig. 2 Relación entre el contenido de  $Co$  residual en el licor de salida del reactor y el gasto de reactivo para diferentes gastos de semilla



1.: 3000mg/l    2.: 4000 mg/l    3.: 5000 mg/l

Fig. 3: Relación entre el contenido de  $Co$  en el licor de salida de reactor y el gasto de reactivo para diferentes gastos de semillas



1.: 3000 mg/l                      2.: 4000 mg/l  
3.: 5000 mg/l

Fig. 4: Relación entre el contenido de  $Co$  del reactor y el gasto de reactivo para diferentes gastos de semillas a la salida del sedimentador

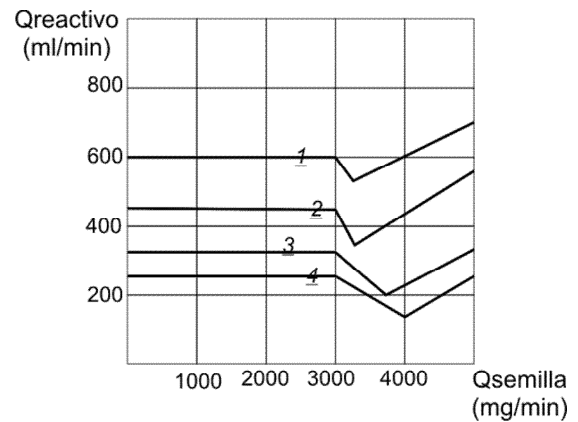


Fig. 5: Relación entre el gasto de reactivo y semilla para 40 mg/l de  $Co$  residual a la salida del espesador según su variación en el licor inicial.

1.: 0.6 g/l    2.: 0.45 g/l    3.: 0.31g/l    4.: 0.22 g/l

### 2.2.2 Decodificación

La decodificación del cromosoma consiste básicamente en la construcción de la solución real del problema a través del algoritmo de clonación.

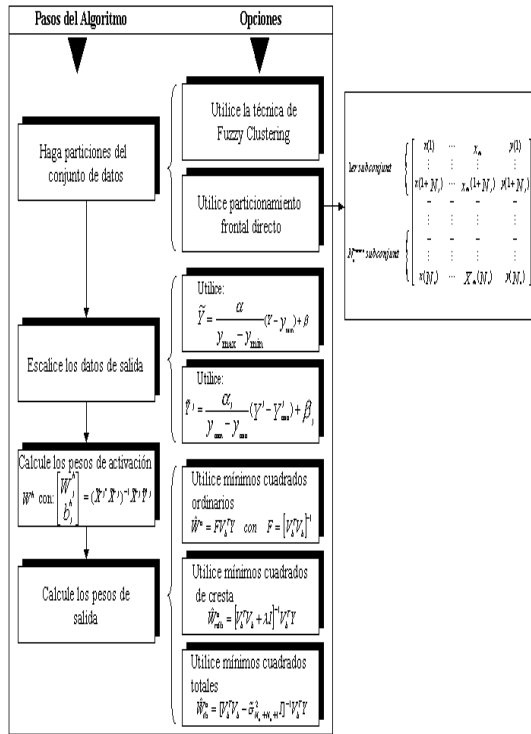


Fig. 6: Algoritmo de clonación del sensor de composición

El proceso de decodificación construye la solución para luego 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.

### 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.

Además con el aumento de la concentración de cobalto en el licor es necesario aumentar el gasto de reactivo. Como afirmación de las conclusiones hechas anteriormente sirven los gráficos 1-5 los cuales muestran la relación existente entre el gasto necesario de reactivos y el gasto de semillas para mantener estable una determinada concentración de cobalto residual a la salida del reactor, para diferentes concentraciones de cobalto en el licor

inicial. Así puede considerarse que existe un determinado intervalo en el gasto de semillas cuando este tiene influencia sobre el proceso de sedimentación de cobalto. Hasta el principio y fuera de las fronteras de éste intervalo, el gasto de semillas no influye sobre la sedimentación. En el intervalo mencionado, con el aumento del gasto de semilla disminuye la cantidad necesaria de reactivo para mantener una determinada cantidad de cobalto residual, lo que constituye una ventaja, pues el valor por tonelada de  $NH_4HS$  oscila entre los límites de 3 hasta 10000 dólares.

Después de realizar diferentes ejecuciones al algoritmo genético, con diferentes números de generaciones y de realizar ajustes al algoritmo como al programa, se obtuvieron las siguientes gráficas, la línea azul representa el sistema real y la línea roja representa el sistema clonado.

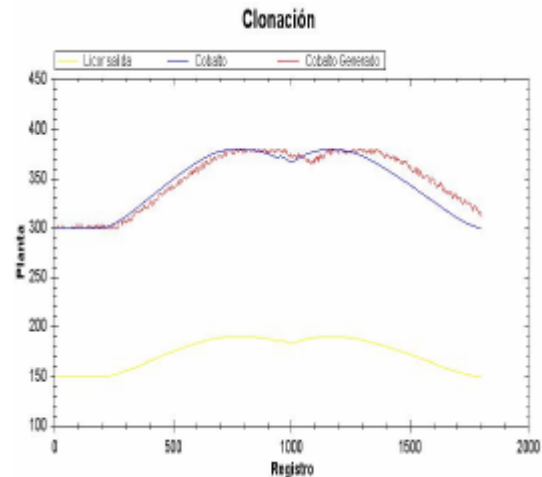


Fig. 7. Sistema de clonación con una población de 500 individuos

### 2.2.4 Selección

Dentro de la línea de estudio de circuitos lógicos digitales es importante conocer los operadores que intervienen en ellos, lo cual permitirá la homologación de funciones de una célula madre a un circuito electrónico.

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.

La idea de emular el comportamiento de los sistemas biológicos a resultado en muchos campos de la tecnología, para este diseño se tomará como base las células madres.

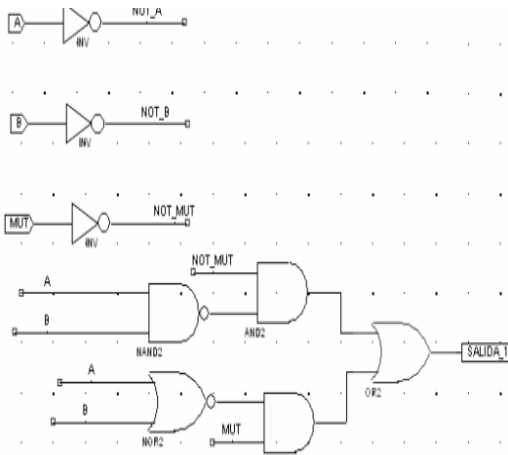


Fig. 8: Hardware Evolutivo

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 1.

Tabla. 1: Operaciones célula madre

A	B	Mut	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

### 3. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta y desarrolla la Metodología de Clonación para Controladores, basada en principios de los Algoritmos Genéticos, con tres variables de entrada y dos de salida, para el caso de estudio. Se demuestra que mediante la clonación, se constituye una estrategia eficiente que permite hacer replicas de las funciones de un dispositivo de control desconocido en su integridad.

Con los resultados del proceso evolutivo se presenta un error aceptable entre el dispositivo real y el clonado, donde, para satisfacer los requerimientos el número de la población debe ser alto contra el total de la misma en este caso aproximado a 1800 generaciones, así el resultado se acerca más al óptimo esperado. Además al utilizar cruce y mutación se observa que también en estos se encuentran individuos que pertenecen a la solución. Para el caso de estudio que se abordó, el efecto de considerar la probabilidad de cruce y mutación diferente de cero es relevante, ya que sin cruce y mutación, la clonación difiere de la real.

Al realizar las pruebas de la metodología en el desarrollo de la aplicación, se encontró que el costo computacional es alto y exigente. Cada vez que se aumenta la población y se incluye las operaciones de cruce y mutación la demora es notoria para hallar la solución.

La metodología presentada es flexible permitiendo no solo la solución del caso de estudio, sino de otros problemas, aumentando el número de variables que se puede manejar de entrada y salida. La clonación permite emular tecnologías utilizadas para control en este caso, ofreciendo costos inferiores para la industria.

### REFERENCIAS

- Goldberg, David E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, 1989.
- Günter, Rudolph. Convergence Analysis of Canonical Genetic Algorithms. IEEE Transactions on Neural Networks, 5:96–101, January 1994.
- Guzman del Rio, Daniel, Rodríguez Borroto, Miguel, Columbie Navarro, Ángel y Misa Llorca, Roger. Proceso de lixiviación

- carbonato-amoniaco: control multivariable a través del arreglo inverso de NYQUIST para el mezclado de mineral y licor. *Revista Minería y Geología*. Vol. 18, No. 2, 2001. pp. 1-6.
- Muñoz Moner, Antonio Faustino y Pardo García, Aldo. Algoritmos y sistemas de control borroso aplicados en la planta de calcinación de la industria de producción de níquel. En: *Tecnologías de Avanzada*. Vol. 2. No. 4. 2004. pp. 25-32.
- Muñoz Moner, Antonio Faustino y Pardo García, Aldo. Nuevos Diseños de Controladores por Lógica Fuzzy. En: *Revista Colombiana de Computación*. Vol. 2, No. 1, Junio-2001. pp. 35-42.
- Muñoz Moner, Antonio Faustino. *Tecnología de Control con Análisis Instrumental On-Line*. Moa – Cuba 1985, 160 p. Trabajo de grado (Ph.D. Ciencias Técnicas), Universidad de Acero y Aleaciones, Moscú Rusia. Facultad Metalurgia y Electromecánica, Programa-Doctorado en Control y Automatización Industrial.
- Muñoz, A. F. *Artificial Cloning of Industrial Sensors*. Editorial Ciencia y Técnica, Academia de Ciencias de Cuba, 397 Págs., 2002.
- Muñoz, A. F.; Pardo, A. *Tecnologías de control avanzado y de Clonación artificial aplicada a sistemas Mecatrónicos de alta precisión*. IEEE Intelligent Control Houston, Texas 2003.