

## PRONÓSTICO DE LAS TASAS DE CAMBIO. UNA APLICACIÓN AL YEN JAPONÉS MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

### RESUMEN

En este artículo se muestra la aplicabilidad de las redes neuronales artificiales al mercado de divisas mediante el estudio de la tasa de cambio del Yen japonés con respecto al Dólar americano. En primer lugar se entrena un conjunto de redes neuronales con los datos históricos de la tasa de cambio y los días de la semana; posteriormente se incluyen los seis de los indicadores económicos más importantes que afectan directamente al dólar americano. Se demuestra como la información de estos últimos indicadores mejora considerablemente la capacidad de pronóstico de las redes neuronales.

**PALABRAS CLAVES:** Redes neuronales, pronósticos, mercado de divisas.

### ABSTRACT

*The applicability of artificial neural networks to the foreign exchange market (forex) using the exchange rate between the American dollar and the Japanese yen is shown in this paper. Two sets of artificial neural networks are used in this work. The former is trained using information of historical data and the days of the week; the latter contains information of the forex market, more relevant economic indicators, besides the historical data. It is demonstrated that the information of the economic indicators improves the forecasting capability of the artificial neural networks.*

**KEYWORDS:** *Artificial neural networks, forecasting, foreign exchange market.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El mercado de divisas es el mercado financiero más grande del mundo, operando prácticamente las 24 horas e intercambiando enormes cantidades de dinero, con cifras estimadas en trillones de dólares diarios. Originalmente fue creado por grandes apostadores, bancos, corporaciones, fondos de inversión y otras instituciones financieras; sin embargo, cualquier persona puede participar comprando o vendiendo divisas, independiente del estado de la economía, si se encuentra en expansión o recesión, pues son las fluctuaciones de las divisas lo que les permite ganar o perder dinero.

Tal como lo plantea Plihon [1], distintos enfoques teóricos han tratado de explicar el movimiento de los tipos de cambio. Hasta 1970, el enfoque teórico más extendido hacia recaer la explicación de los movimientos cambiarios sobre la situación de la balanza comercial o de la balanza corriente. Allen y Taylor [2] muestran que un gran número de agentes en los mercados de divisas usan el análisis técnico o chartista para predecir la evolución del tipo de cambio en el corto plazo, sin importar cuál ha sido el comportamiento de las variables macroeconómicas (fundamentos). Esto implica que parte de las expectativas que se generan en los mercados de divisas no son compatibles con modelos teóricos. Otros autores como Pilbean [3], consideran que en un mercado de divisas actúan tres tipos de agentes: los fundamentalistas, los chartistas y los de mercados

### FERNANDO VILLADA DUQUE

Ingeniero Eléctrico, Ms.C, Ph.D.  
Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica  
Departamento Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Antioquia  
fvillada@udea.edu.co

### WILSON MUÑOZ TREJOS

Ingeniero Electrónico  
Líder de Proyectos  
S-Square S.A.  
wmunoz@ssquare-sa.com

### MARÍA ANGÉLICA HENAO R.

Estudiante Ingeniería de Instrumentación y Control  
Facultad de Ingeniería  
Instituto Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.  
Angelica3695@yahoo.es

eficientes. Para el tercer grupo, los analistas de mercados eficientes, el tipo de cambio responde rápidamente a nueva información que llega al mercado sobre los valores futuros de las variables explicativas, generando un cambio de expectativas que se incorporan instantáneamente al tipo de cambio de contado.

Unas de las técnicas matemáticas utilizadas para abordar el estudio del comportamiento de las tasas de cambio han los modelos multivariantes y univariantes, pero presentan deficiencias cuando se trata de realizar predicciones fuera de la muestra [4]. Estudios posteriores han demostrado que la presencia de dinámicas no lineales podría implicar la posibilidad de realizar predicciones más precisas que aquellas proporcionadas por un modelo estocástico lineal y, en concreto, por el modelo paseo aleatorio. En este sentido, autores como Fernández [5], proveen evidencias en favor de la predicción no-lineal de los tipos de cambio.

Ante el comportamiento no lineal de las tasas de cambio, recientemente se han propuesto nuevos métodos basados en redes neuronales artificiales [6]. Su principal característica de permitir establecer relaciones lineales y no lineales entre las entradas y salidas de un sistema les ha permitido mostrar su aplicabilidad en diversas áreas de la ingeniería [7-10], el mercado de valores [11-12] y el mercado de divisas [13-14].

En este trabajo se muestra la aplicabilidad de las redes neuronales al mercado de divisas mediante el modelamiento del comportamiento del yen japonés con respecto al dólar americano. El trabajo se divide en dos partes. En la primera se utiliza solamente la serie de datos histórica como entradas de la red neuronal con el objetivo de predecir la tasa de cambio. En la segunda se introducen como entradas adicionales de la red neuronal, los seis indicadores económicos que más afectan el comportamiento del dólar americano; estos son la tasa de interés de la reserva federal, el indicador de confianza del consumidor de la Universidad de Michigan, la tasa de desempleo en los Estados Unidos, el indicador de la asociación de compradores de Chicago (Chicago PMI), el indicador del comportamiento de la producción (ISM) y el producto interno bruto de los Estados Unidos. Se demuestra como la inclusión de estos últimos mejora de forma considerable la capacidad de pronóstico de las redes neuronales.

## 2. LOS TIPOS DE CAMBIO

El mercado de divisas es del tipo flotación libre, esto es, responde a estímulos de muy variado origen, como el flujo de capital, el flujo de importaciones y exportaciones, la tasa de inflación, entre muchos otros. Aunque en algunas ocasiones se imponen límites a la tasa de cambio con el fin de proteger el mercado interno, esto es, políticas gubernamentales.

Con el paso del tiempo, este mercado ha pasado a ser especulador en gran medida y la información nunca es suficiente. En el argot de los participantes de este mercado se han generalizado algunos axiomas, por ejemplo, “cuando una pieza de información es apoyada por todos, esta ha dejado de ser útil para cualquiera” ó “comprar con los rumores, vende con la noticia”. Cuando una noticia sale en el periódico es porque ya ha sido conocida y descontada en el mercado.

Hasta 1970, el mercado de divisas se soportaba en enfoques basados en modelos keynesianos donde la dinámica de las tasas de cambio dependía del saldo de las transacciones con el exterior; otro enfoque se basaba en la teoría de la paridad del poder de compra donde la tasa de cambio dependía de los precios relativos entre países. Bajo estos esquemas el mercado mantenía una tendencia estable.

La inestabilidad apareció después de 1971 cuando las principales divisas entraron en sistemas de flotación libre. A partir de aquí ha sido frecuente registrar variaciones del orden de 5% a 10% de un mes a otro. En períodos largos de tiempo los movimientos de las paridades han sido especialmente importantes: de 1979 a 1985 el precio del dólar se apreció aproximadamente 80% con relación a las monedas europeas, mientras se depreció rápidamente de 1985 a julio de 1991. Más recientemente de 1995 a 1998, la paridad del dólar registró un alza de 30%,

contribuyendo a la crisis de cambio de las monedas asiáticas en 1997 – 1998.

Actualmente existen dos métodos ampliamente aceptados en la predicción del movimiento de los mercados financieros; éstos son el análisis técnico y el análisis fundamental [2].

### 2.1 Análisis técnico

El análisis técnico o chartista establece que la variable sólo depende de sus valores anteriores y que de algún modo este sistema posee memoria teniendo a larga un comportamiento cuasi-periódico, sin importar cual ha sido el comportamiento de las variables macroeconómicas. Este análisis se usa para predicciones a corto plazo, considerado como corto plazo a predicciones no superiores a una semana.

Esto implica que parte de las expectativas que se generan en los mercados de divisas no son compatibles con modelos teóricos de determinación del tipo de cambio y forma sus expectativas con base en los valores pasados, utilizando modelos extrapolativos.

### 2.2 Análisis fundamental

El análisis fundamental establece que los cambios en el futuro de una variable corresponden a cambios en el presente de otros factores fundamentales, para una divisa estos factores pueden ser: la reducción en la inflación del país, la reducción o aumento en las tasas de interés, la venta o compra de moneda extranjera por parte del estado, catástrofes o accidentes, etc. Todos estos factores afectarán la economía del país, y producirán variaciones en la tasa de cambio de su moneda.

El punto de partida para determinar una tasa de cambio es la ley de un mismo precio, la cual establece que si dos países diferentes producen un artículo idéntico, el precio del artículo debe ser el mismo en cualquier parte del mundo, sin importar que país lo produce. Otro aspecto importante es el efecto de las tasas de interés; si estas suben la economía interna se verá adversamente afectada, pues al subir el costo del dinero su circulación disminuye, pero el país se vuelve atractivo para capital extranjero; El efecto opuesto se tiene cuando las tasas de interés bajan.

En el caso del mercado de divisas el efecto es muy notorio, ya que cuando las tasas de interés varían, estimulan la entrada o salida de dinero al hacer más o menos rentable la inversión en el país. Un factor importante y que muestra el grado en que se afecta la economía, es el hecho que cuando se modifican las tasas de interés, el banco central lo hace de una forma suave, realizando esta variación en varias etapas, amortiguando así los efectos en la economía.

La inestabilidad en los tipos de cambio apareció después de 1971 cuando las principales divisas entraron en sistemas de flotación libre. A partir de aquí ha sido frecuente registrar variaciones del orden de 5% a 10% de un mes a otro. En períodos largos de tiempo los movimientos de las paridades han sido especialmente importantes: de 1979 a 1985 el precio del dólar se apreció aproximadamente 80% con relación a las monedas europeas, mientras se depreció rápidamente de 1985 a julio de 1991. Más recientemente de 1995 a 1998, la paridad del dólar registró un alza de 30%, contribuyendo a la crisis de cambio de las monedas asiáticas en 1997 – 1998.

Al contrario de los mercados bursátiles (bolsa de valores, bolsa de commodities) que tienen una localización geográfica precisa, el mercado de divisas no tiene fronteras. Hay un solo mercado de cambios en todo el mundo. Las transacciones sobre una divisa, el Euro por ejemplo, se hace al mismo tiempo, bien sea en Londres, Hong Kong, Nueva York. La confrontación de la oferta y la demanda se hace a través de distintos medios de comunicación: teléfono, fax y especialmente por redes especializadas de comunicación y sistemas informáticos que permiten registrar rápidamente las operaciones, es pues un mercado en red que trasciende los espacios nacionales y contribuye a unificar la economía mundial.

Su modo de funcionamiento hace de él, el mercado más perfecto en el sentido en que los tipos de cambio reflejan de una manera rápida y continua toda la información disponible.

El problema que se plantea, entonces es cómo se determinan los tipos de cambio.

Tal como lo plantea Plihon [1] distintos enfoque teóricos han tratado de explicar el movimiento de los tipos de cambio. Hasta 1970, el enfoque teórico más extendido hacia recaer la explicación de los movimientos cambiarios sobre la situación de la balanza comercial o de la balanza corriente. En los modelos Keynesianos desarrollados por Mundel (1960) y Fleming (1962), la dinámica de las tasas de cambio dependía fundamentalmente del saldo de las transacciones con el exterior.

Otro enfoque de referencia es la teoría de la paridad del poder de compra (PPA) que hace depender la tasa de cambio de los precios relativos entre países. Este enfoque puede ser generalizado, comparando para dos países una canasta de bienes intercambiables. La hipótesis de partida es simple: el valor de una moneda está determinado por la cantidad de bienes y servicios que ella permite adquirir, es decir por su poder de compra externo que evoluciona en razón inversa al nivel general de precios domésticos.

Allen y Taylor [2] muestran que un gran número de agentes en los mercados de divisas usan el análisis técnico o chartista para predecir la evolución del tipo de cambio en el corto plazo, sin importar cuál ha sido el comportamiento de las variables macroeconómicas (fundamentos). Esto implica que parte de las expectativas que se generan en los mercados de divisas no son compatibles con modelos teóricos. Otros autores como Pilbean [3], consideran que en un mercado de divisas actúan tres tipos de agentes: los fundamentalistas, los chartistas y los de mercados eficientes. Los primeros utilizan enfoques teóricos como los descritos arriba para calcular el valor de equilibrio del tipo de cambio, sus expectativas de ganancias derivan de las diferencias entre este valor de equilibrio y la cotización de mercado. El segundo tipo de agentes: los técnicos o chartistas no usa ningún modelo teórico de determinación del tipo de cambio y forma sus expectativas con base en los valores pasados, utilizando modelos extrapolativos. Para el tercer grupo, los analistas de mercados eficientes, el tipo de cambio responde rápidamente a nueva información que llega al mercado sobre los valores futuros de las variables explicativas, generando un cambio de expectativas que se incorporan instantáneamente al tipo de cambio de contado.

La existencia de diferentes expectativas en el mercado de divisas, implica que estas no son racionales, como se postula en los modelos teóricos, ya que cada grupo de agentes utiliza información diferente, la evolución del tipo de cambio se forma, entonces en función de los agentes que intervienen en el mercado y de su peso relativo.

### 3. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una red neuronal es un sistema que permite establecer una relación lineal o no lineal entre las salidas y las entradas [6]. Sus características están inspiradas en el sistema nervioso lo que les da varias ventajas tales como su capacidad de aprendizaje adaptativo, son auto-organizativas, pueden funcionar en paralelo en tiempo real y ofrecen tolerancia a fallos por la codificación redundante de la información.

Desde el punto de vista de solucionar problemas, las redes neuronales son diferentes de los ordenadores convencionales que usan algoritmos secuenciales, mientras que las redes neuronales actúan como el cerebro humano, procesando la información en paralelo, y también pueden aprender y generalizar a situaciones no incluidas en el proceso de entrenamiento. Las redes neuronales pueden procesar información de forma más rápida que los ordenadores convencionales, pero tienen la desventaja de que no podemos seguir su respuesta paso a paso como se puede hacer al ejecutar un programa convencional en un ordenador por lo que no resulta fácil detectar los errores.

Las redes neuronales artificiales son muy efectivas para resolver problemas complicados de clasificación y reconocimiento de patrones. La más utilizada es la llamada de propagación hacia adelante. La figura 1 muestra una red de propagación hacia adelante con dos capas ocultas. El número de entradas es directamente dependiente de la información disponible para ser clasificada mientras que el número de neuronas de salida es igual al número de clases a ser separadas. Las unidades de una capa se conectan unidireccionalmente con las de la siguiente, en general todas con todas, sometiendo a sus salidas a la multiplicación por un peso que es diferente para cada una de las conexiones.

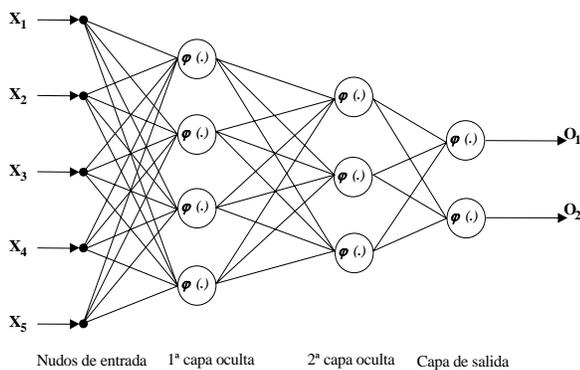


Figura 1. Red neuronal de propagación hacia adelante

Las redes neuronales artificiales se han usado para el reconocimiento de las imágenes y sonidos, para el procesamiento de los datos y señales, y como clasificadores. En el campo del análisis de los sistemas eléctricos de potencia, hay investigaciones para aplicar la tecnología de las redes neuronales para la predicción de los parámetros y las cargas del sistema, el análisis de la seguridad, la estabilidad y las protecciones [7-10].

#### 4. REDES NEURONALES EN LA ECONOMÍA Y EN LAS FINANZAS

La inteligencia artificial y en especial los sistemas expertos y las redes neuronales han sido aplicados al modelamiento de los mercados de valores y las tasas de cambio [11-14].

Freedman [12] representó mediante hojas electrónicas de cálculo un sistema experto basado en casos y una red neuronal como herramientas para tomar decisiones en el mercado de valores. La diferencia entre estas dos técnicas se tiene en la forma como representan el conocimiento; mientras que en las redes neuronales el conocimiento existente es utilizado para entrenar la red, en el razonamiento basado en casos el conocimiento es un componente permanente de la hoja electrónica de cálculo. Estas hojas proporcionan información visual y amigable a los usuarios permitiéndoles un mayor dominio de su entorno computacional y tener una mayor confianza en sus resultados.

Zimmermann [13] diseñó una red neuronal de propagación hacia adelante para modelar el comportamiento de la tasa de cambio del marco alemán con respecto al dólar americano y el yen japonés; para ello utilizó una base de datos con los valores de cambio diarios desde enero de 1991 hasta diciembre de 1997 (1746 datos), además de 11 indicadores tomados del análisis técnico y fundamental.

Medeiros [14] estudió el comportamiento de dos métodos clásicos utilizados para el modelamiento del mercado de divisas: el camino aleatorio y la auto-regresión lineal, y los comparó con dos métodos alternativos: las redes neuronales artificiales y el neuro-coeficiente de autorregresión con transición suave (NCSTAR). Este último consiste en una red neuronal de propagación con una sola capa oculta, en el cual se pueden anidar varias formulaciones no lineales bien conocidas. Como ejercicio de aplicación tomó los datos mensuales de 14 monedas desde enero de 1971 hasta julio de 2000, donde encontró como el NCSTAR pronosticaba mejor el comportamiento para aquellas monedas en las cuales existía un comportamiento no lineal.

#### 5. MODELO DE PREDICCIÓN BASADO EN REDES NEURONALES

Uno de los aspectos fundamentales cuando se va a modelar un sistema con redes neuronales es disponer una base de datos histórica lo suficientemente grande para el proceso de entrenamiento, en especial cuando este involucra un análisis predictivo. Para el entrenamiento de las redes neuronales se tomó un conjunto de 521 datos que van desde enero 1 de 2002 hasta septiembre 30 de 2003, de los cuales se reservaron 40 para prueba quedando 481 para entrenamiento.

El primer conjunto de redes neuronales se entrenó con la base de datos histórica de la tasa de cambio del yen japonés con respecto al dólar en el periodo mencionado. Se probaron diferentes estructuras de redes neuronales con una capa oculta, variando el número de neuronas en dicha capa e incluyendo también retardos de tiempo en la entrada. Finalmente se encontró como mejor estructura de red neuronal la representada en la figura 2 con las siguientes características:

- 8 entradas: 6 retardos de tiempo (ret n), 1 secuencial (sec) y 1 entrada periódica (per) que representa el día de la semana al que pertenece el dato.
  - 12 neuronas en la capa oculta, la cual tiene función de transferencia tangente sigmoide.
  - Función purelin o identidad en la capa de salida.
- Algoritmo de entrenamiento: "trainlm" del Matlab.

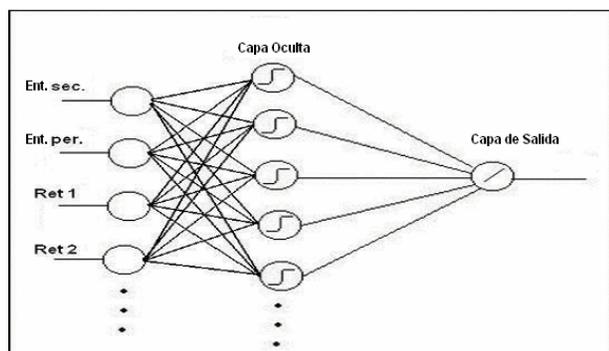


Figura 2. Estructura de red neuronal utilizada en la primera prueba

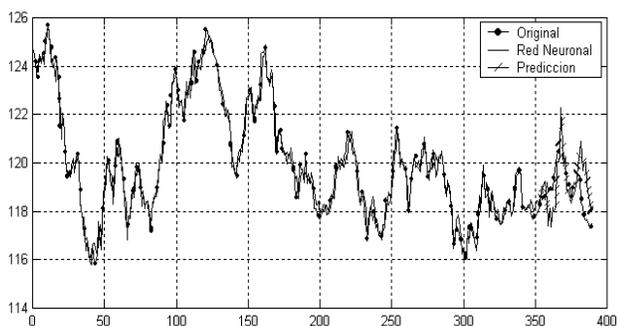


Figura 3. Comportamiento de la red neuronal entrenada con datos secuenciales.

La figura 3 muestra el comportamiento de la red neuronal con los últimos 390 datos. Dicha red se entrenó con 350 datos diarios y la predicción se realizó para los 40 días siguientes marcados con líneas cruzadas. Se aprecia que el modelo de red neuronal (línea continua) se aproxima bastante a los datos reales (línea con puntos) dentro de la muestra utilizada para su entrenamiento. El pronóstico por fuera de la muestra, aunque trata de seguir a los datos reales presenta algunos picos en los cuales se puede llegar al 10% en el error de predicción.

En el segundo conjunto de redes neuronales se aumentó el número de entradas considerando los seis indicadores económicos fundamentales que están dentro del conjunto que más afecta la cotización del dólar los cuales son: la tasa de interés de la reserva federal, el indicador de confianza del consumidor de la Universidad de Michigan, la tasa de desempleo en los Estados Unidos, el indicador de la asociación de compradores de Chicago (Chicago PMI), el indicador del comportamiento de la producción (ISM) y el producto interno bruto de los Estados Unidos.

Por menor disponibilidad de datos de los indicadores económicos mencionados sólo se pudieron utilizar los últimos 340 datos, de los cuales se emplearon 300 para entrenamiento y 40 para comprobación de la predicción. La red entrenada en este caso contó con 14 entradas (las seis enunciadas para la primera red más los seis

indicadores económicos fundamentales) y una salida equivalente a la tasa de cambio.

La figura 4 muestra los resultados con la mejor estructura encontrada de red neuronal, la cual contó con 14 entradas, 16 neuronas en la capa oculta y una salida. En comparación con el primer conjunto de redes, el desempeño dentro de la muestra es similar. Por fuera de la muestra, a partir del dato 300 y cuyo comportamiento se muestra con la línea cruzada, se aprecia una mejor capacidad para pronosticar, especialmente para los 20 primeros datos fuera de la muestra.

Se demuestra como las no linealidades presentes en los mercados de divisas nos permiten proponer a las redes neuronales como una herramienta poderosa de pronóstico en el mercado de divisas. Adicionalmente, la información de indicadores económicos propuestos en otros enfoques, mejoraron considerablemente el desempeño de las redes neuronales ya que tienen que ver con decisiones políticas, aspectos económicos y factores emocionales y psicológicos de la población.

### 6. CONCLUSIONES

El nivel complejidad del mercado de divisas debido a factores económicos externos y alto grado de especulación de los agentes que lo intervienen hacen de las redes neuronales artificiales una buena alternativa para predecir tasas de cambio; estas últimas no presuponen nada acerca de las series de tiempo a diferencia de otros métodos estadísticos como modelos ARIMA quienes asumen que la serie se adapta a una distribución probabilística.

Los dos conjuntos de redes neuronales mostraron un excelente desempeño dentro de la muestra modelando de forma muy precisa la tasa de cambio; por fuera de la muestra se aprecian algunos errores en el primer grupo de redes neuronales, pero al incluir las variables fundamentales en el segundo grupo, se aprecia como mejora de forma sustancial el desempeño por fuera de la muestra realizando una buena predicción para los primeros 20 datos, es decir, más de tres semanas de pronóstico.

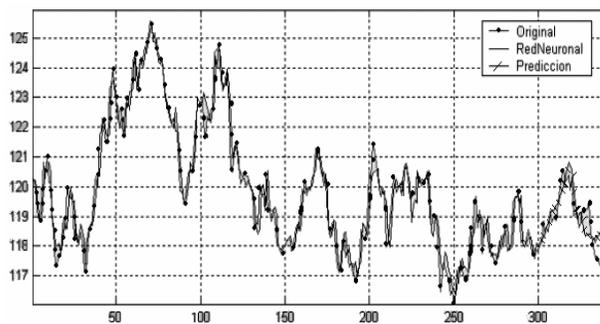


Figura 4. Comportamiento de la red neuronal entrenada con datos secuenciales e indicadores económicos

Los resultados aquí presentados son prometedores y podrían ser mejores si se tuviera a disposición una buena fuente de información que incluya las expectativas de los indicadores económicos del mercado y los flujos de dinero especulativos que también modifican sustancialmente las tasas de cambio. Por lo tanto, este trabajo puede ser la base para futuros proyectos de predicción de la tasa de cambio, abarcando otras divisas o conjunto de estas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PLIHON, Dominique. Les taux de change. France : La Decouverte. 1999.
- [2] ALEN, H. "Charts, noise and fundamentals in the foreign exchange market, Economic Journal. Vol 100. 1990.
- [3] PILBEAN, K. "The profitability of trading in the foreign exchange market: chartist, fundamentalist and simpleton. Oxford Economic Papers. No 47. 1995.
- [4] Meese, R., Roese, A. ; "An empirical assesment of non-linearities in models of exchange rate determination", Review of Econometric Studies, No. 58, 1991, pp. 601-619.
- [5] Fernández F., Sosvilla, S.; "Testing Nonlinear Forecastability in Time Series: Theory and Evidence from EMS". Economic Letters, No 59, 1998, pp.49-63.
- [6] Hagan, M., "Neural Network Design", PWS Publishing Company, Boston, MA, USA, 1996.
- [7] Bastard, P, Bertrand, P., and Meunier, M., "Neural Network-based algorithm for power transformer differential relays", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., vol. 142, no. 4, pp. 386-392, 1995.
- [8] Filippetti, F., Franceschini, G., and C. Tanssoni, "Neural networks aided on-line diagnostics of induction motor rotor faults", IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 31, no. 4, pp. 892-899, July/August 1995.
- [9] Orille, A.L., Sowilam, G.M.A., and F. Villada, "Electromagnetic torque signal estimation in a direct torque control for electrical machines", The International Conference on Electrical Machines, ICEM2000, Helsinki, August 2000.
- [10] Orille, A. L., Villada, F., and G.M.A. Sowilam, "Finite Impulse Response Artificial Neural networks Based Internal Fault Detector for Synchronous Generators", The IEEE International Symposium on Diagnosis for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Grado, Italy, September 2001.
- [11] Trippi, R.R. and Turban, E.; "Neural Networks in Finance and Investing", McGraw-Hill, 1996.
- [12] Freedman, R.S., Frail, R.P.; "Expert Systems in Spreadsheets: Modeling the Wall User Domain", IEEE International Conference on Artificial Intelligence, 1991, pp. 296-301.
- [13] Zimmermann, H.G., Neuneier, R., Grothmann, R.; "Multiagent Modeling of Multiple FX-Markets by Neural Networks", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 12, No. 4, July 2001, pp. 735-743.
- [14] Medeiros, M., Veiga, A., Pedreira, C.A.; "Modeling Exchange Rates: Smooth Transitions, Neural Networks, and Linear Models", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 12, No. 4, July 2001, pp. 755-763.