



APLICACIONES INDUSTRIALES

EXPERIMENTOS CON UNA PROTECCION BASADA EN REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES

EXPERIMENTS WITH A PROTECTION BASED ON ARTIFICIALS NEURONS NETWORKS

Orlys Ernesto - Torres Breffe
Martial - Pascal Batcho

Marwan - Mohammed
Luis Geovanny - Maza Pinza

Recibido: Septiembre del 2009
Aprobado: Mayo del 2010

Resumen/ Abstract

En este trabajo se muestran los resultados de los experimentos físicos realizados con una protección basada totalmente en Redes de Neuronas Artificiales para un transformador eléctrico a escala de laboratorio. Se demuestra que unas Redes de Neuronas Artificiales entrenadas, con datos provenientes de regímenes simulados matemáticamente, opera correctamente con señales de regímenes provenientes de casos reales, al menos a escala de laboratorio y con niveles reducidos de intensidad. Se describe la instalación experimental, tanto desde el punto de vista de hardware como software utilizando la tecnología de National Instrument. Se entrenan diferentes tipos de Redes Neuronales y todas aprendieron a proteger correctamente. Estos experimentos establecen las pautas para el desarrollo de Relés Electrónicos Inteligentes que no se ajustarían, al menos con datos y valores de difícil comprensión como los actuales relés, sino que se entrenarían una vez mediante la simulación matemática y la experiencia práctica los haría cada vez mejores.

Palabras clave: protección de transformadores de potencia, redes neuronales artificiales

In this work is shown the results of the physical experiments done with a protection totally based in Artificial Neural Networks for an electric transformer of the laboratory scale. Its demonstrated that some Artificial Neural Networks trained with data coming from a mathematically simulated regimens, it operates correctly with signals coming from real cases, at least to laboratory scale and with reduced levels of intensity. The experimental installation is described, so much from the hardware and software point of view, using the technology of National Instrument. Different types of Artificial Neural Nets are trained and all learned how to protect correctly. These experiments establish the rules for the development of Intelligent Electronic Relays that would not be adjusted, at least with complex data and values like the current relays, they will be trained once from the mathematically simulation and the practical experience will make them better.

Key Words: transformer protection, artificial neural network

INTRODUCCIÓN

Los transformadores de potencia se emplean en gran escala en los sistemas eléctricos de potencia. Estos se pueden encontrar en las grandes y pequeñas plantas generadoras, en las subestaciones de distribución o de las industrias, en fin, su empleo es inevitable y el costo muy elevado. La protección eléctrica de estos dispositivos es una de las más complejas, dado en primer lugar a la aparición de dos niveles de tensiones y corrientes diferentes en el primario y el secundario, así como a los fenómenos transitorios permisibles que en este elemento se originan, con carácter en muchos casos aleatorios, tales como el Inrush.

El método de protección principal, mayormente empleado en los transformadores de potencia, es la protección diferencial longitudinal, la cual tiene como función la desconexión del transformador contra cortocircuitos multifásicos internos [1].

Este método de protección diferencial longitudinal que es ampliamente utilizado no solo en los transformadores de potencia sino en las otras máquinas como motores y generadores [2], en el caso de los transformadores de potencia debe tener características especiales, dado que las características propias de esta máquina con dos o tres devanados, así como los regímenes transitorios que en esta aparecen la pueden hacer operar incorrectamente.

Muchos son los aspectos que pueden hacer operar incorrectamente al método de protección diferencial longitudinal en los transformadores de potencia y se enumeran a continuación:

1. Corriente de Inrush
2. Imposibilidad de igualar las corrientes para ambos devanados
3. El grupo de conexión
4. El cambio TAPs
5. La saturación de los Transformadores de Corrientes (TCs)
6. La apertura de un conductor en el circuito secundario de los TCs

Para cada uno de los fenómenos o aspectos que pueden hacer operar incorrectamente a la protección diferencial longitudinal de corriente se han desarrollado otros métodos matemáticos que hacen de la protección de transformadores una protección extremadamente costosa.

Para evitar la operación incorrecta contra Inrush varios métodos se han desarrollado. La restricción por armónicas de 2do y 5to orden, bloquear un tiempo luego de la energización del transformador, tiempo del cruce por cero, entre otros [3], aunque estos pueden que se encuentren hoy combinados en las protecciones que se comercializan en el mercado.

Para evitar las operaciones incorrectas debidas al cambio TAPs, la imposibilidad de igual las corrientes, y el grupo de conexión, se ha desarrollado el método de cálculo del Transformador de Corriente ideal [4], que para cualquier condición, en régimen estable, las corrientes en ambos devanados son iguales. Para lograr esta igualdad de las corrientes se debe conocer la posición del TAP en que se encuentra el transformador de potencia, su conexión en todos los devanados y las características de los TCs que están instalados, lo cual provoca que la protección tenga más entradas de señales y por tanto sea más costosa. La saturación de los TCs es otro de los problemas que dio origen al nuevo y más utilizado método conocido como Protección de Porcentaje Diferencial [5]. Este aún sigue siendo uno de los problemas no totalmente resueltos en la protección de un transformador de potencia. Dado que aunque se evitan los disparos para saturaciones poco profundas, con transformadores totalmente saturados es inevitable la operación incorrecta.

La apertura de un conductor en los circuitos secundario de los transformadores de corrientes, es un aspecto sin resolver. Algunas tecnologías declaran que se detecta fácilmente analizando los oscilogramas del evento posteriores al disparo. Otro método emplea la inyección de corrientes de poca magnitud y alta frecuencia en el circuito de control las cuales no afectan la operación correcta del método diferencial de corriente, pero si permiten detectar si el circuito está abierto en cualquiera de sus ramales [6].

Todas estas deficiencias de la protección diferencial longitudinal de corriente y las soluciones que la resuelven, conllevan más cálculo matemático que al final están provocando el crecimiento de las potencialidades del microprocesador del Relé Digital y por tanto, el costo de la protección crece.

El empleo de las Redes de Neuronas Artificiales (RNA) entrenadas para detectar y diferenciar los regímenes anormales permisibles de los no permisibles, así como los regímenes normales ha venido a sustituir el empleo de los métodos convencionales de protección.

PREPARACIÓN DEL EXPERIMENTO

Para probar en la práctica el sistema de protección de transformadores basado en Redes de Neuronas Artificiales se utilizó una instalación de protección convencional de transformadores que existe en el Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas, la cual se muestra en el monolineal en la figura 1.

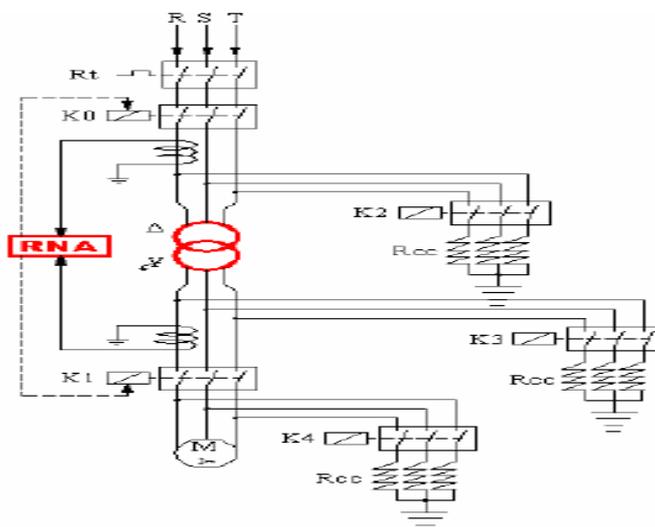


Fig.1. Esquema monolineal trifásico de la instalación de fuerza empleada para la comprobación del sistema de protección basado en RNA.

La instalación cuenta con un transformador trifásico conectado en delta en el primario y estrella aterrizada en el secundario, que alimenta a un motor eléctrico de baja potencia. Contactores electromagnéticos en el primario y en el secundario lo desconectarían de las sobrecorrientes que se provocan forzosamente con resistencias instaladas en el primario, en el secundario, y en la carga. Estas últimas simulan los cortocircuitos internos y externos al transformador. El sistema de protección basado en RNA se conecta, a través de pinzas amperimétricas, al primario y al secundario de la fase R del transformador. Mide las señales utilizando una tarjeta de adquisición de datos de **National Instrument** conocida como **USD 6009**, empleando el software **LabView** como plataforma de trabajo en la PC. En la figura 2 se muestra un esquema monolineal de la instalación.

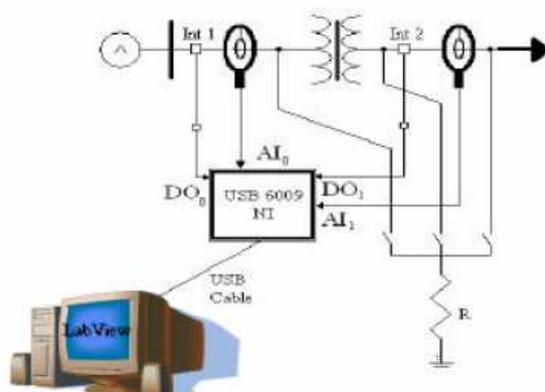


Fig. 2 Esquema monolineal simplificado del sistema protección basado en RNA.

Las pinzas amperimétricas de la firma Fluke (figura 3a) convierten las señales de corrientes de los distintos regímenes reales en valores de bajo voltaje (mV) utilizando la relación 40A/1mV y la tarjeta de adquisición de datos (figura3b) convierte las señales de tensión en muestras digitales con una velocidad de muestro de 960 Hz y utilizando una ventana de 16 muestras por ciclos.

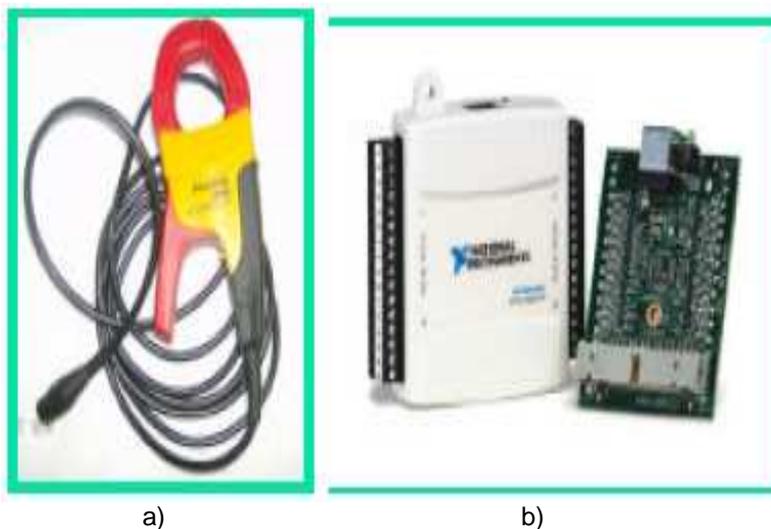


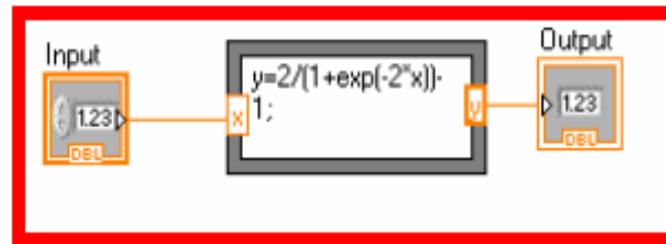
Fig. 3 Pinzas amperimétricas y tarjeta de adquisición de datos empleadas en el sistema de protección basado en RNA.

En LabView, que es el software empleado, se emularon varias Redes de Neuronas Artificiales que emplea entre 5 y 6 muestras de cada señal de entrada, para un total de Neuronas en la capa de entrada entre 10 y 12, y 2 Neuronas en la capa de salida. Las neuronas en la capa de salida emulará la acción sobre los interruptores del primario y el secundario respectivamente. Las capas de neuronas ocultas se variaron en el experimento. Una salida igual a 1 significará disparar una acción de disparo del contactor magnético ya se la del primario (salida 1) o del secundario (salida 2).

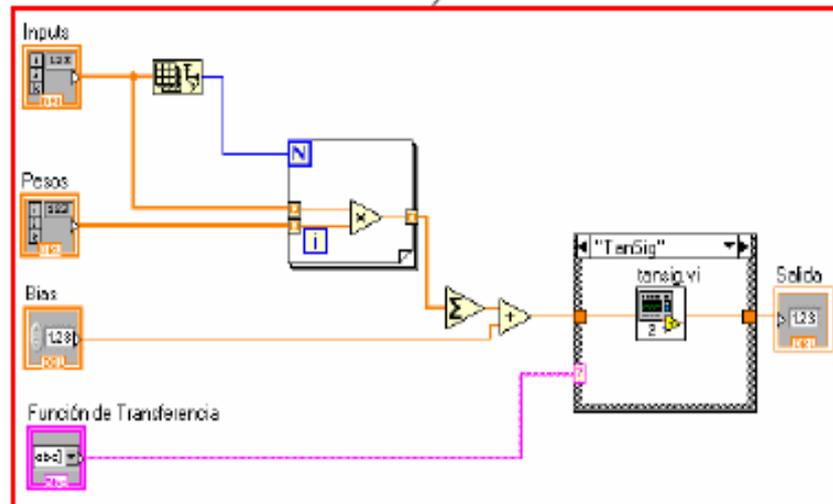
Se crearon Instrumentos Virtuales (VIs) en LabView 7.0 para el procesamiento matemático basado en Redes de Neuronas Artificiales dado que esta versión de LabView no existen. Se crearon los VIs de funciones de transferencias (figura 4a), los VIs de una neurona con N entradas (figura 4b), así como los VIs de una capa de neuronas con N neuronas (figura 4c), que recibe señales de otra capa de M neuronas.

Se construyó un VI principal para la ejecución en tiempo real de la protección basado en RNA (figura 5). Este VI está compuesto por un registrador que muestra las formas de ondas de las señales medidas, y el estado de las salidas de la RNA. La última capa de la RNA creada posee 2 salidas que emula la acción sobre los interruptores del primario y el secundario, y esta acción depende del tipo de fallo que se simule en la instalación experimental.

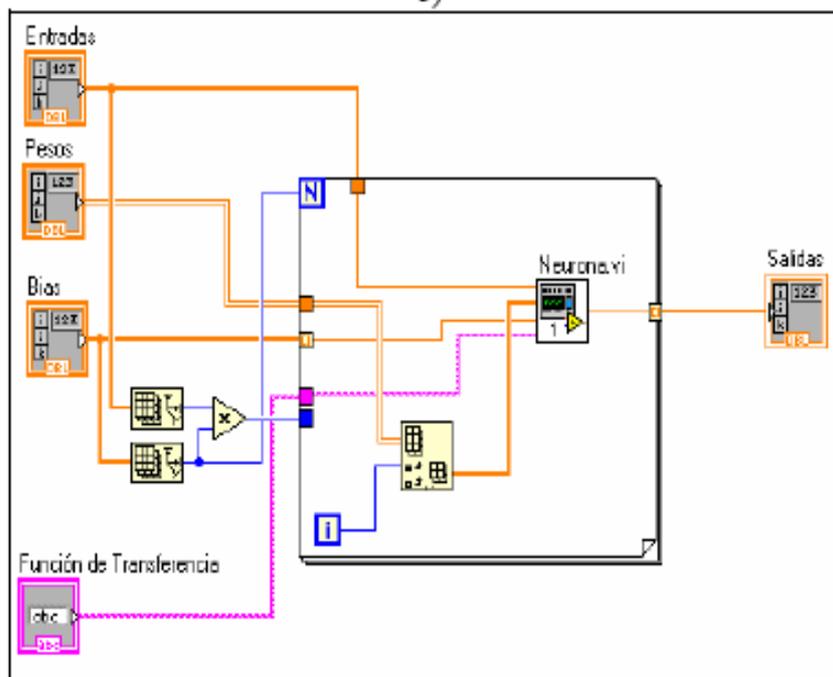
Otro VI adicional (figura 6) se creó para guardar los regímenes simulados y la operación de la protección en ficheros de Microsoft Excel. Este VI permite el análisis posterior de la operación del Relé Inteligente basado en RNA para diferentes experimentos, sin detenerse en el análisis de cada caso. Se pudieron hacer varios experimentos y luego se analizaron con el tiempo adecuado.



a)



b)



c)

Fig. 4. VIs que simula una capa de neurona artificial en LabView. a) VI de función transferencia tipo TanSig. b) VI que simula una Neurona Artificial. C) VI que simula una Capa de (N) Neuronas.

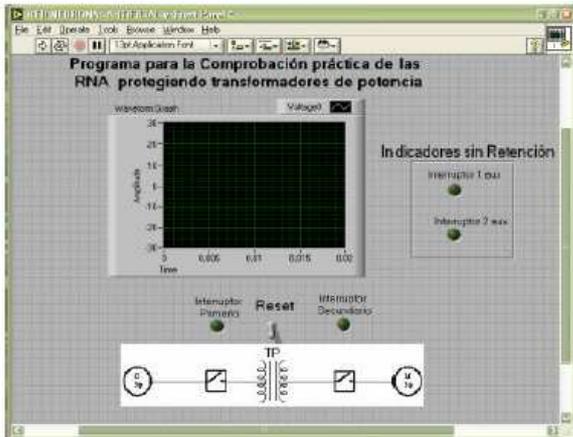


Fig 5. VI principales de los experimentos ,ejecuta el sistema basado en RNA y sus respuestas a las señales o Regímenes simulados.

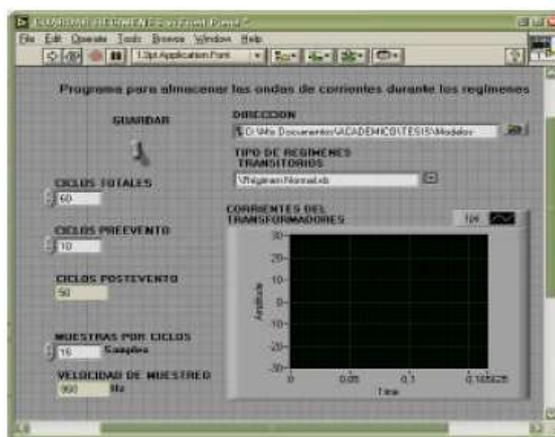


Fig 6. VI utilizado para guardar los regímenes de las fallas en formato Excel.

SIMULACION DE RNA PARA PROTEGER TRANSFORMADORES

Las Redes de Neuronas Artificiales de tipo feedforward pueden ser entrenadas para detectar regímenes en transformadores de potencia e incluso detectarlos y diferenciarlos cuando uno de los transformadores de corrientes esté desconectado por cualquier causa [6].

Estas RNAs se entrenaron con más de 8 regímenes diferentes utilizando MATLAB, tales como: regímenes de carga normal y 10% de sobrecargas, cortocircuitos internos en el primario y el secundario, cortocircuitos externos y procesos de magnetización (Inrush).

Las RNAs utilizadas tenían estructuras diferentes, empleando siempre 2 neuronas en la capa de salida la cuales ordenarían la acción de disparo de los contactores del primario o del secundario. Las estructuras empleadas se muestran en la tabla I.

Tabla 1. Estructura de las RNAs simuladas				
RNA	Cantidad de Neuronas en las capas			
	Capa Entrada	Capa Oculta 1	Capa Oculta 2	Capa Salida
Net_1	8	5	-	2
Net_2	8	8	-	2
Net_3	10	2	-	2
Net_4	10	8	3	2

Todas las neuronas tienen la capacidad suficiente para lograr el aprendizaje de los regímenes escogidos como patrón, hasta lograr un error mínimo de 0.001 con respecto al objetivo perseguido. Para la fabricación de un Relé Inteligente sería necesario emplear la RNA de menos neuronas y con ello lograr menos cálculo en el software.

Para regímenes normales y anormales permisibles, tales como regímenes de cargas normales, procesos Inrush y regímenes de sobrecargas permisibles, las salidas deben responder con 0 y 0, por lo que no se debe realizar ninguna acción de disparo de los interruptores.

Para el caso de los cortocircuitos internos ya sean en el primario o en el secundario la acción debe ser enviando señal de disparo a ambos interruptores dado que aunque no existe en el caso del experimento preparado, en la realidad si pueden haber fuentes por ambos terminales. En este caso las salidas deben ser 1 y 1.

Para el caso de los cortocircuitos externos en el secundario, la acción debe ser enviando señal de disparo solo al interruptor del secundario, así que las salidas deberán ser de 0 y 1. Con una avería en los consumidores no se debería desconectar el interruptor del primario. Con este comportamiento los operadores pueden localizar la avería.

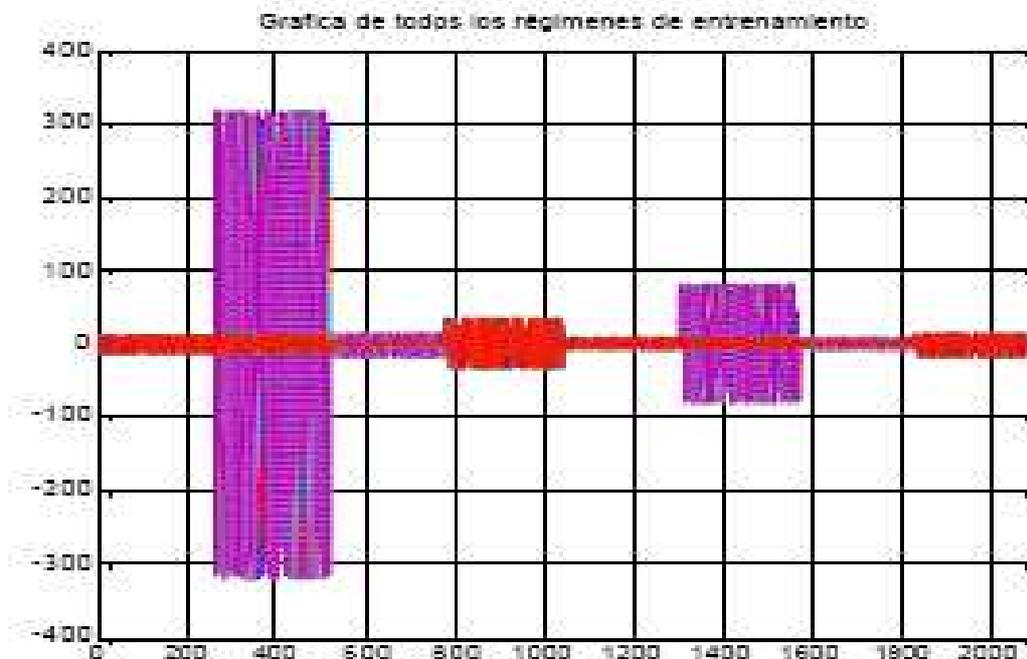


Fig. 7 Regímenes empleados en el entrenamiento.

En la figura 7 se muestra las formas de ondas de las señales de los regímenes y las salidas idealizadas utilizadas como patrones de entrenamientos. Primero se muestra un régimen normal, seguido por un cortocircuito interno, en el primario y luego otro en el secundario y este seguido por cortocircuito externo.

En la figura 8 se muestra la salida el proceso de entrenamiento de una de las RNA, aunque todas tenían velocidades de entrenamientos similares. Estas RNAs fueron simuladas con señales de regímenes diferentes a los regímenes con las cuales fueron entrenadas. Sus salidas oscilan del valor esperado pero con variaciones muy pequeñas.

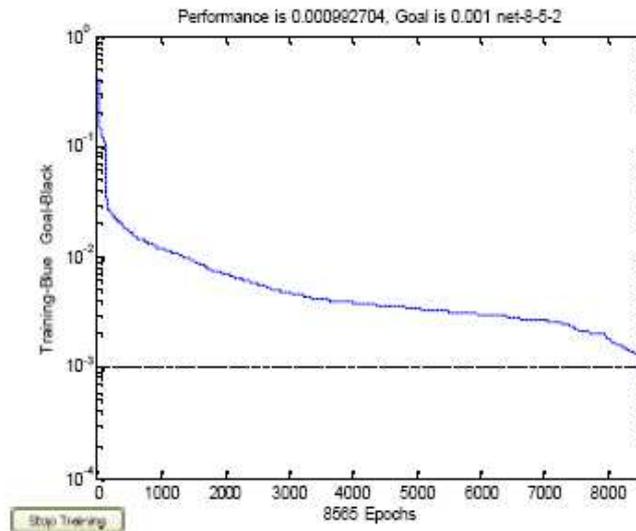


Fig. 8 Proceso de entrenamiento y aprendizaje de una de las RNA utilizadas.

En la figura 9 se muestra la respuesta de la RNA simulada con un régimen normal, luego por cortocircuitos internos en el primario y en el secundario y finalmente un cortocircuito externo. Este es el comportamiento que mostró una RNA en MATLAB para regímenes simulados matemáticamente.

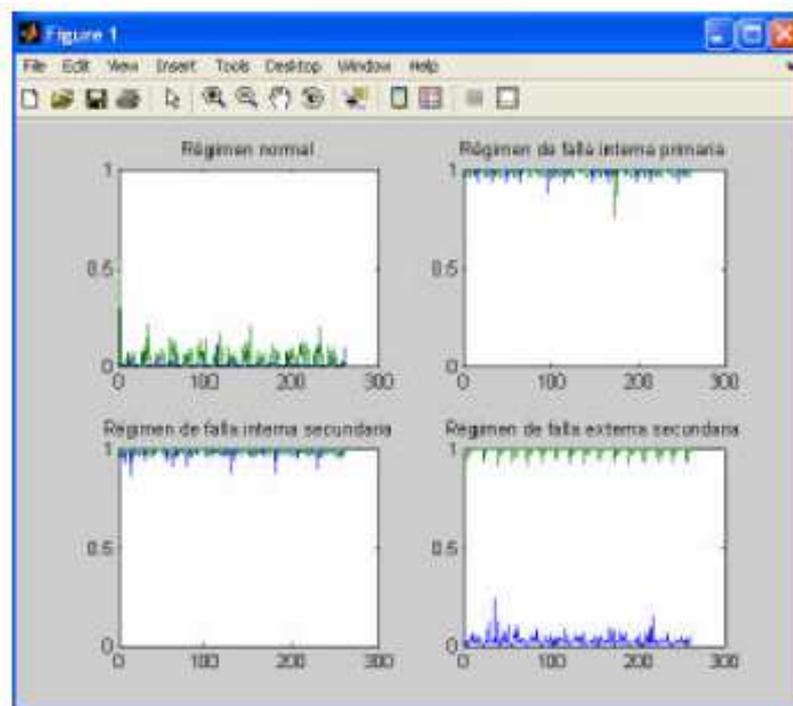


Fig. 9. Respuesta de una de las rna para distintos Regímenes.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se efectuaron distintos regímenes y en la PC se guardaban en formato de Excel, las formas de ondas para cada uno de los regímenes. Como solo existe fuente en el primario, para cualquier régimen de cortocircuito aunque la RNA diferenciara si fuera externo o interno, la avería desaparecía completamente y las formas de ondas en pocos ciclos mientras el sistema procesaba permanecían y luego desaparecía.

En la figura 10 se muestra la acción del sistema basado en RNA para el caso de un régimen normal con el transformador sin carga seguido por un cortocircuito interno. Se observa que el régimen de fallo dura muy poco tiempo. Apenas un ciclo y medio se puede observar del régimen de avería, esto es el tiempo que toma el sistema en

procesar y tomar las decisiones, adicionando el tiempo de acción del hardware de la tarjeta interfase. Estos tiempos son variables hasta llegar a 6 ciclos como máximo.

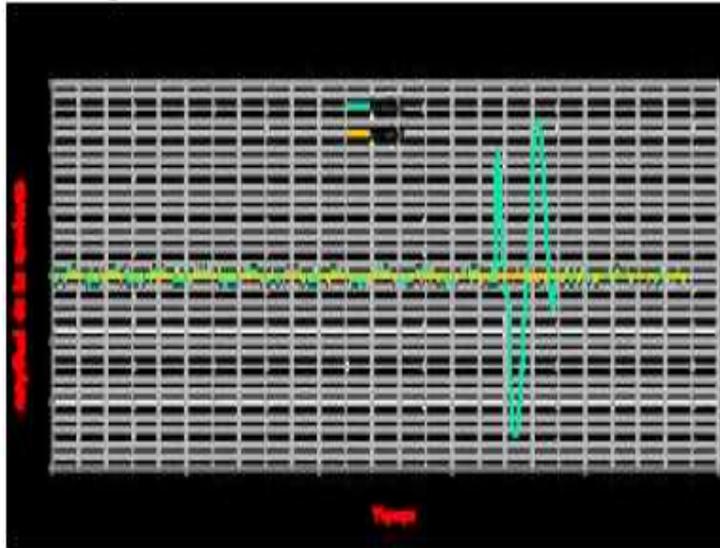


Fig. 10 Formas de ondas del sistema, para un régimen Normal en vacío, seguido por un cortocircuito Interno.

En la figura 11 se muestran 3 regímenes, primeramente el transformador en vacío (baja corriente), seguido por una conexión de una carga tipo motor, y luego un cortocircuito externo. En esta condición la avería duró 2 ciclos. El comportamiento del tiempo de respuesta en caso de avería depende de la estructura y tipología de RNA empleada.

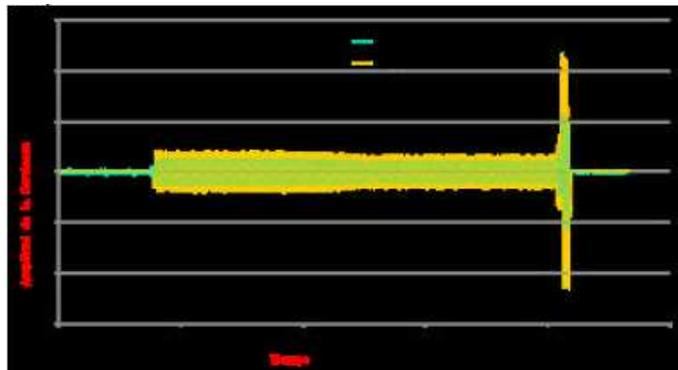


Fig. 11 Formas de ondas del sistema de protección basado en RNA, para un régimen normal seguido por un cortocircuito interno.

CONCLUSIONES

- Una instalación con un transformador de potencia de laboratorio, permitió la verificación con señales reales del funcionamiento de un sistema de protección basado en Redes de Neuronas Artificiales.
- LabView 7.0 permite emular el funcionamiento en forma matemática de Redes de Neuronas Artificiales que operan con señales analógicas de características sinusoidales discretizadas y con diferentes ventanas de procesamiento. Los pesos y bias obtenidos de la simulación con MATAB se emplearon idénticos en LabView.
- Se demostró con numerosos experimentos, que las Redes de Neuronas Artificiales entrenadas con señales simuladas digitalmente, operan luego correctamente con señales reales de fallas simuladas físicamente en un transformador de laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctrica que facilitó la instalación con el transformador de baja tensión y el resto de los accesorios del circuito de fuerza. A la Universidad Nacional de Loja, especialmente al área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, la que permitió la pasantía en Cuba del Ingeniero Luís Crespo S., el cual donó la mayor parte de la tecnología electrónica utilizada.

REFERENCIAS

- [1] CHERNOBROVOV, N. Protective Relaying. Sverdlov Markov (trad.) Moscow: Mir, 1974. 1789p.
- [2] KEZUNOVIC, M. "A survey of neural net applications to protective relaying and fault Engineering Intelligent Systems 1997, vol.4, No. 5.
- [3] VÁZQUEZ MARTÍNEZ, E. P. R., J. ALFREDO. . "Aplicación de la RNA en la detección de corriente Inrush en transformadores". Ingenierías. 2003, vol. VI, nº 20.
- [4] GE POWER MANAGEMENT (Canada). UR-T60 Transformer Management Relay. 2004.
- [5] MORAVEJ, Z. V., D. N. . "ANN-based Harmonic Restraint Differential Protection of Power Transformer". IE(1) Journal-IE. 2003, vol. 84, nº 1.
- [6] TORRES BREFFE, O. E. "Relé para la Protección de un Transformador de Potencia basado en Redes Neuronales Artificiales". Ingeniería y computación. 2005, vol, I, nº 3.

AUTORES

Orlys Ernesto Torres Breffe,

Ingeniero Eléctrico, Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

otorres@electrica.cujae.edu.cu, otbreffe@yahoo.es,

Luis Geovanny Maza Pinza,

Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Loja (UNL), Ecuador

gmaza@yahoo.es,

Marwan O. A. Mohammed

Ingeniero Electricista, Master en Ciencias, Palestina

marwan_salama1977@yahoo.es, Palestina

Martial Pascal Batcho,

Ingeniero Electricista, Benin

batmartial@yahoo.fr, Benin