

## **SISTEMA CLASIFICADOR DE SEÑALES DE ULTRASONIDO BASADO EN ALGORITMOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

REFERENCIA PACS: 43.35.Zc

Giacchetta, R.; Desimone, C.; Katchadjian, P.

CNEA UA ENDE INEND

Av. Gral. Paz y Constituyentes, San Martín

CP 1650 Buenos Aires. Argentina

Tel: 541147547491

Fax: 541147547355

E-Mail: [giacchet@cnea.gov.ar](mailto:giacchet@cnea.gov.ar), [katcha@cnea.gov.ar](mailto:katcha@cnea.gov.ar), [desimon@cnea.gov.ar](mailto:desimon@cnea.gov.ar)

### **ABSTRACT**

The security of Suspension Bridge depends mainly from the good working conditions of the ropes that support the suspended span. Defects can be produced in the ropes by corrosion and vibration. Internal corrosion is a very serious type of rope degradation, and often occurs with no external evidence detectable by visual inspection. Environmental conditions or poor protection causes corrosion, external and internal. The attack can be produced by two process: a) Corrosion by dissolution, localized or generalized, forming oxides and a correlative reduction of wire section, and b) By stress corrosion cracking, moving to a rupture fragile.

In this paper we present a neural network based on a Probabilistic Neural Network (PNNs) that could be used for classifying the different type of rope degradation

### **RESUMEN**

La seguridad de los puentes atirantados responde principalmente a la buena condición de trabajo del obenque. Si bien los obenques son construidos con protección externa, por efecto del envejecimiento, condiciones de trabajo del puente y agresiones climáticas, dichas protecciones se van degradando. Posibilitando la penetración de agua en el interior del cable con el consiguiente proceso de corrosión. Este ataque puede presentarse de dos formas: a) Corrosión por disolución, localizada o generalizada b) Corrosión baja tensiones La primera se refleja por la formación de óxidos con reducción de la sección de la varilla. La segunda provoca el crecimiento de fisuras y la ruptura frágil En este trabajo se presenta una red neuronal del tipo probabilística, aplicada a la clasificación de discontinuidades en varillas de obenques

### **INTRODUCCIÓN**

La seguridad de los puentes atirantados responde principalmente a la buena condición de trabajo del obenque Este componentes esta constituido por 150 a 350 varillas de acero de un diámetro de 7 mm encapsuladas en un compuesto de resina epoxi y material bituminoso (Fig. 1).

La inspección por US es muy compleja ya que se tiene solo una zona de acceso, ubicada en la cercanía al cabezal de anclaje del obenque (Fig. 2). La propagación del haz ultrasónico esta condicionado por la geometría de la varilla, produciendo una onda conocida como guiada. Esta onda es muy dispersiva teniendo velocidades de fase y de grupo diferentes (Fig. 4). Para el control del conjunto de varillas seria deseable poder contar con un sistema que permita clasificar o correlacionar las señales obtenidas La clasificación de los defectos en END (SCH,00), puede ser encarado a través de; sistemas expertos, análisis estadístico, lógica borrosa, algoritmos genéticos o redes neuronales. En este trabajo se describe un sistema basado en una Red Neuronal Probabilística (RNP) que permite, sobre la base de señales reales, inferir el estado de deterioro de las varillas de un obenque de un puente atirantado.



Fig.1 Sección de Obenque

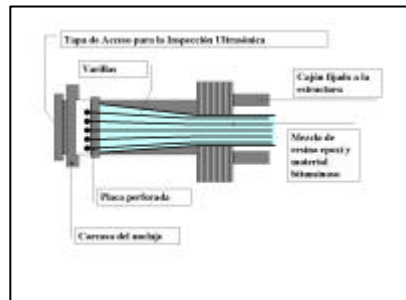


Fig. 2: Sistema de anclaje y acceso insp.

## REDES NEURONALES

Las redes neuronales artificiales están compuestas de un gran número de elementos de procesamiento altamente interconectados trabajando al mismo tiempo para la solución de problemas específicos. La red neuronal tal como las personas, aprenden de la experiencia. En cualquier caso se trata de una nueva forma de computación que es capaz de manejar las imprecisiones e incertidumbres que aparecen cuando se trata de resolver problemas relacionados con el mundo real (reconocimiento de formas, toma de decisiones, etc.) ofreciendo soluciones robustas y de fácil implementación [FRE,91].

### Red Neuronal Probabilística (RNP)

La RNP se utiliza básicamente en problemas de clasificación de señales (PAR,62) o cuando no se cuenta con un gran numero de patrones de entrenamiento Este modelo posee una capa de neuronas que almacena los valores de los patrones agrupados en categoría los cuales forman junto a la trama de entrada un vector de probabilidades. La clase (neurona) ganadora es aquella que posea la probabilidad mas alta, activándose su salida con un 1. Las características básicas de la arquitectura de una RNP se muestran en la Figura. 3.

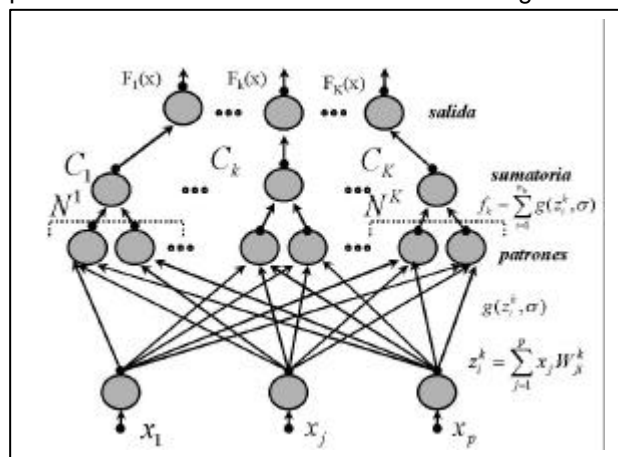


Fig. 3. Esquema básico de una RNP

La primera capa cumple la función de recibir el vector de entrada y su salida se establece a través de [1]

$$z_i^k = \sum_{j=1}^p x_j \cdot W_{ji}^k \quad [1]$$

La segunda capa, es la capa de patrones, esta organizada en clases y su tamaño esta establecido por los vectores de entrenamiento. Su salida se define como [2]

$$f_k = \frac{1}{(2p)(s_1 + s_2 + \dots + s_p)n_k} * \sum_{i=1}^{nk} \exp \left[ - \sum \frac{(x_j - x_{ji}^k)(x_j - x_{ji}^k)}{2s^2} \right] \quad [2]$$

La clase ganadora se obtiene, a través de un decisor optimo de Bayes, clasificando al vector x como miembro de una clase sí se cumple [3]

$$C_i f_i(x) > C_k f_k(x) \quad [3]$$

El valor de  $C_i$  es especificado por el operador, refleja la importancia que tiene una clase sobre otra y se ajusta en forma manual. El valor de  $\sigma$  se ajusta de manera de minimizar el error de clasificación

### Transformada de Gabor

Esta transformada consiste básicamente en computar la transformada de Fourier unidimensional utilizando una ventana gaussiana deslizante. [4]. El resultado de la misma es una representación tiempo-frecuencia, como se observa en la figura 5

$$Gabor_{-}(t, f) = \int x(t) \cdot g(t - \mathbf{t}) dt \quad [4]$$

Un problema que presenta esta distribución es la imposibilidad de obtener simultáneamente una buena resolución en el dominio tiempo ( $\Delta t$ ) y de la frecuencia ( $\Delta f$ ), este fenómeno se lo denomina principio de incertidumbre.[COH,89] Esto significa que una buena resolución en frecuencia implica necesariamente una pobre localización temporal y viceversa [5]

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{2} \quad [5]$$

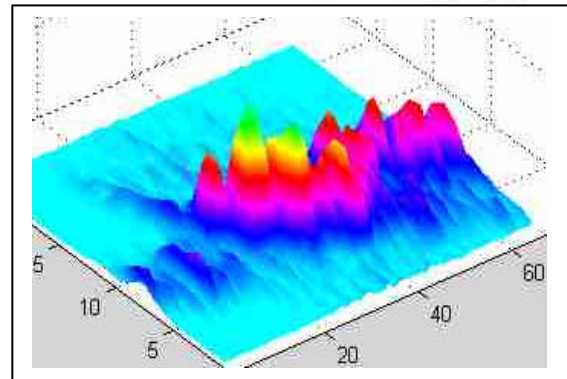
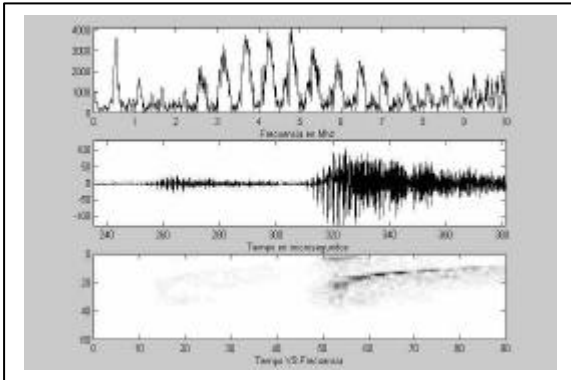


Fig 4 a)FFT eco varilla b) Idem dom.Tiempo c) dist. Gabor Fig.5 Distribución tiempo - frecuencia

Una solución al problema anterior es la utilización de distribuciones cuadráticas, sin embargo, en este caso se utilizó la transformada de Gabor por su sencillez y velocidad de cálculo. Con respecto al valor  $\Delta t$  y  $\Delta f$  se utilizó una ventana de tiempo de 1.6  $\mu s$  resultando la resolución en frecuencia de 312.5 KHz

## PROCEDIMIENTO

### Defectología a caracterizar

Si bien los obenques son construidos con protección externa, por efecto del envejecimiento, condiciones de trabajo del puente y agresiones climáticas, dichas protecciones se van degradando. Posibilitando la penetración de agua en el interior del cable con el consiguiente proceso de corrosión. Este ataque puede presentarse de dos formas:

- Corrosión por disolución, localizada o generalizada
- Corrosión bajo tensiones

La primera se refleja por la formación de óxidos con reducción de la sección de la varilla. La segunda provoca el crecimiento de fisuras y la ruptura frágil. Estos defectos se localizan aproximadamente a 1 m del cabezal de anclaje, siendo la tapa del anclaje la única zona de acceso para la inspección, como se ve en la figura 2. Los ensayos se realizaron sobre varillas individuales y sobre una sección de obenque real, extraído del puente Zarate -Brazo Largo (CARR, 97). Se confeccionó una base de datos con aproximadamente 60 defectos inducidos y reales Figura.6

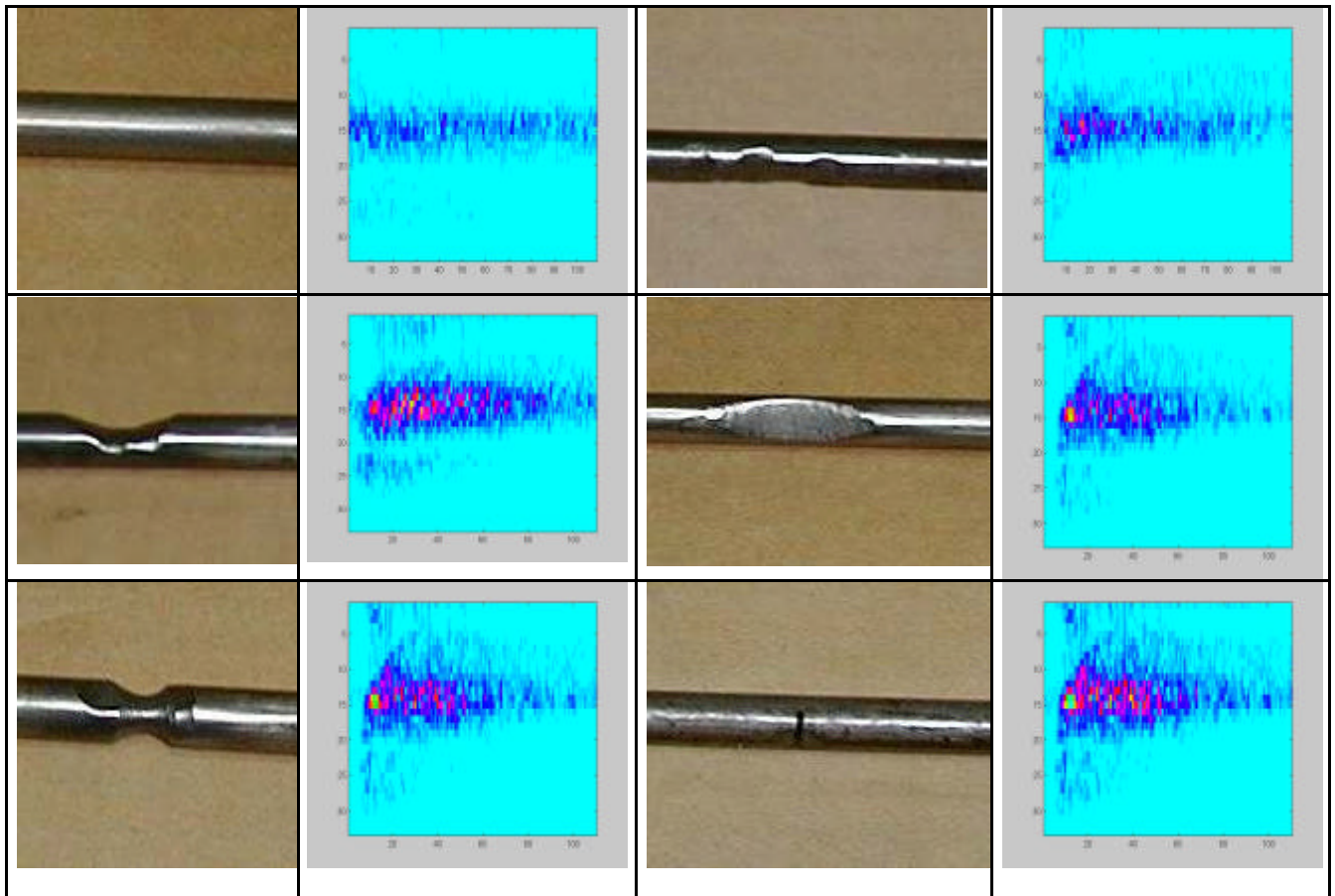


Fig. 6 Patrones y distribución de Gabor .De derecha a izquierda: Limpia, Corrosión leve, Corrosión 50% pared, Doble Corrosión, Corrosión circular, Fisura

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las señales fueron adquiridas utilizando un transductor normal de alto amortiguamiento, con una frecuencia de resonancia centrada en 5 Mhz. La ganancia fue ajustada en cada caso pues esta dependía del grado y tipo de corrosión. En el caso de los ecos provenientes de ranuras su amplitud estaba relacionada con su profundidad, hasta pasar aproximadamente los 3 mm, donde permanecía constante Figura 6. Similar situación se observa con las ranuras inclinadas. Los ensayos realizados sobre el obenque real, con la protección de resina epoxi, arrojaron resultados similares a los de las varillas individuales, pero con una atenuación de 15 a 20 dB. Para el entrenamiento de la RNP, se eligieron los patrones que produjeran el menor error en la clasificación. En la figura 7 se observa el porcentaje de aciertos: para la primera clase (corrosión leve) 0.91%; para la segunda clase (corrosión moderada) baja a 0.80 % y para la tercera clase (corrosión grave o fisura) 0.70%.

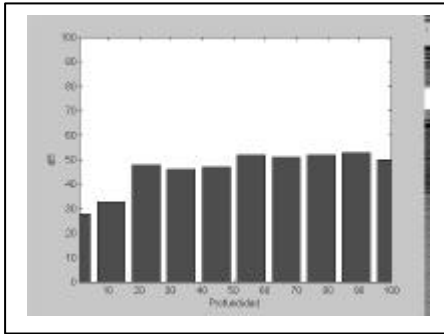


Fig. 6 Ampl. Eco Vs profundidad de la Ranura

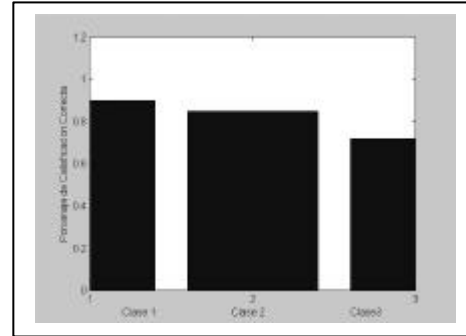


Fig. 7 Porcentaje de acierto Clase1, Clase2 y Clase3

Si bien existe aproximadamente un 20 % de tramas mal clasificadas, el resultado es satisfactorio, si lo comparamos con el obtenido en la inspección manual.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el contrato de la IAEA , ARG10619

### REFERENCIAS

- [FREE,91], Freeman A. James, David M. Skapura, " Redes neuronales algoritmos ,aplicaciones y técnicas de programación" ,Addison Wesley, ISBN0-201-60115-x
- [KOS ,95], Bart Kosko, " Neural network for signal processing" , Prentice Hall NJ07632 ISBN 0-13-617390-x
- [HAY,94], Simon Haykin, " Neural network a Comprehensive foundation " ISBN 0-02-352761-7
- [KRAU],85J.Krautkramer, H Krautkramer, " US testing of Materials",4 edición ,Spring Verlag,1990, Germany
- [COH,89],Cohen,L " Time -frecuency distribution " a review proceeding of IEEE, Vol77,N7,1989
- [SCH,00] , Material evaluation,Vol 58, numero 1 pp 80 –84
- [CAR,91],Tomás A. Del Carril, "Reparaciones en los puentes de Zarate-Brazo Largo", Revista Ciencia y Técnica, 1997, pp. 31-38.
- [PAR,62] Parzen ,E. "On Estimation of a probability Density Function and Mode",Annals of Math. Statistics, Vol 33.,1962, pp 1065-1076