

---

# Evaluación de daños en viviendas causados por sismos mediante redes neuronales

---

Mg. Augusto Cortez Vasquez<sup>1</sup>, Mg. Hugo Vega Huerta<sup>1</sup>,  
Ing. Sommers Cayampe de la Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

cortez\_augusto@yahoo.fr, hugovegahuerta@hotmail.com,  
sammers\_cd@hotmail.com

---

## RESUMEN

El presente artículo propone un modelo para evaluación de las viviendas que han sido dañadas por sismos, que sirva como instrumento para el apoyo en la toma de decisiones para el personal encargado de la evaluación de las viviendas afectadas. El modelo planteado se basa en la utilización de una red neuronal Backpropagation de tres capas de aprendizaje supervisado.

Para el aprendizaje de la red neuronal y validación se utilizó la información del sismo ocurrido en el año 2007, en el departamento de Ica, Lima-Perú.

La importancia para el modelo planteado se basa en la calibración que se hiciera a partir de los datos reales obtenidos de la evaluación realizada después del sismo. Sin embargo, se considera que pueda ser extensivo para evaluar las viviendas hechas con otros sistemas constructivos alternativos y que pudieran permitir elaborar un mapa de riesgos por zonas según sistema constructivo utilizado.

**Palabras clave:** Redes neuronales, evaluación de daños, sismo, construcción sismorresistente

## ABSTRACT

The present article a model proposes for evaluation of the buildings that have been damaged by earthquakes, which it serves as instrument for the support in the capture of decisions for the personnel in charge of the evaluation of the buildings. The raised model bases on the utilization of a network neuronal Backpropagation of three caps of supervised learning.

For the learning of the network neuronal and validation I use the information of the earthquake happened in the year 2007, in Ica - Lima - Peru.

The importance for the raised model is based on the calibration that was done from the royal information obtained of the evaluation realized after the earthquake. Nevertheless it is considered that it could be extensive to evaluate the housings done with other systems constructives alternative and that could allow to elaborate a map of risks in housings according to constructive system.

**Keywords:** Networks(Nets) neuronales, evaluation of hurts(damages), earthquake, construction sismorresistente

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando ocurre un sismo las viviendas y edificaciones se ven afectadas ya sea en mayor o menor grado. El grado de la afectación depende de las características estructurales y no estructurales con las cuales han sido construidas. Para evaluar el grado de afectación es necesario tener expertos que evalúen los daños ocasionados, sin embargo, en muchas circunstancias el personal que supervisa las viviendas no tiene la suficiente experiencia para realizar dicha evaluación.

El objetivo de este artículo es presentar un modelo de apoyo en el proceso de evaluación de las viviendas afectadas por un sismo. Se describe la problemática encontrada, objetivos e indicadores requeridos para su evaluación. Se hace una referencia acerca de las redes neuronales que son el sustento teórico para la concepción de la solución propuesta. Finalmente se describe la metodología, etapas y procedimientos planteado como propuesta de solución.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Identificación de las causas

- Falta de personal experto que realice estas tareas de evaluación de las viviendas.
- Carencia de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la evaluación del nivel de daño en las viviendas afectadas por el sismo.
- Escasez de recursos de personal por parte de Indeci (Instituto Nacional de Defensa Civil), para realizar las inspecciones en las viviendas afectadas por el sismo.

### INFORMACIÓN DE VIVIENDAS AFECTADAS POR EL SISMO EN LOS DEPARTAMENTOS DE ICA-LIMA-HUANCAVELICA

ITE	DEPARTAMENTO / PROVINCIA	TOTAL DE VIVIENDAS AFECTADAS
	<b>DEPARTAMENTO DE ICA</b>	64,868
1	ICA	27,024
2	CHINCHA	24,599
3	PISCO	13,245
	<b>DEPARTAMENTO DE LIMA</b>	9,011
4	CAÑETE	7,977
5	YAUYOS	1,034
	<b>DEPTO. DE HUANCAVELICA</b>	1,877
6	CASTROVIRREYNA	890
7	HUAYTARÁ	987
	<b>TOTAL VIVIENDAS AFECTADAS</b>	75,756

TABLA N.º 1. Fuente INEI - Censo de Damnificados del Sismo del 15 de Agosto 2007.

### Variables e Indicadores

#### Variables

Variable Independiente: X = Condiciones de vivienda.

Variable Dependiente: Y = Grado de daño en vivienda afectada por el sismo

#### Indicadores

Columna	Viga
Nudo	Entrepiso
Muros divisorios	Muros de fachada
Escalera	Instalaciones Eléctricas

Variables	Definición	Indicadores	Escala
Variable Independiente X = Condiciones de Vivienda	Condiciones de Vivienda. Son las condiciones que presenta la vivienda después de ocurrido un sismo, implica las condiciones a evaluar de la vivienda para evaluar el grado de daño en la vivienda.	Condición Estructural. Condición No Estructurales.	Nominal
Variable Dependiente Y = Daño en Vivienda	Grado de Daño en Vivienda. Grado de evaluación del estado de la vivienda.	Nivel de Daño en Vivienda	Nominal

TABLA N.º 2. Variables.

Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala
Variable Independiente X = Condiciones de Vivienda	Condiciones de Vivienda. Son las condiciones que presenta la vivienda después de ocurrido un sismo, implica las condiciones a evaluar de la vivienda para evaluar el grado de daño en la vivienda.	A. Condición del Sistema Estructural.	Columna Viga Nudos Entrepisos	Nominal
		B. Condición No Estructurales.	Muro Divisorios Muro de fachada Escaleras Instalaciones Eléctricas	Nominal
Variable Dependiente Y = Daño en Vivienda	Grado de Daño en Vivienda. Grado de evaluación del estado de la vivienda.	Nivel de Daño en Vivienda	Grado de daño en la vivienda	Nominal

TABLA N.º 3. Indicadores.

### Conceptualización de los Indicadores

#### A. Condiciones Estructurales

- Columnas: Estado en que se encuentra la columna después del sismo.
- Vigas: Estado en que se encuentra las vigas después del sismo.
- Nudos: Estado en que se encuentra los nudos estructurales después del sismo.
- Entrepisos: Estado en que se encuentra los entrepisos después del sismo.

#### B. Condiciones No Estructurales

- Muro divisorios: Estado en que se encuentran los muros divisorios de las estructuras.
- Muro de fachada: Estado en que se encuentran los muros de la fachada de las estructuras.
- Instalaciones Eléctricas: Estado en que se encuentran las instalaciones Eléctricas.

#### Operacionalidad de los Indicadores

N.º	Indicador	Unidad de Medida	Índice
1	Columnas	Estado de las Columnas	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
2	Vigas	Estado de las Vigas	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
3	Nudos	Estado de los Nudos	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
4	Entrepisos	Estado de los Entrepisos	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
5	Muro Divisorios	Estado de los Muros divisorios	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
6	Muro de Fachada	Estado de los muros	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
7	Escaleras	Estado de la Escaleras	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]
8	Instalaciones Eléctricas	Estado de las Instalaciones eléctricas	[ Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte, Grave ]

TABLA N.º 4. Operacionalidad de Indicadores.

## Universo y Muestra

### Universo

El universo de la investigación trata sobre todas las áreas de Control de Obras y Viviendas por parte del Instituto Nacional de Defensa Civil en todos los distritos de las provincias de Pisco, Chincha, Ica y Cañete que fueron afectadas por los sismos.

### Muestra

El tamaño de la muestra para esta investigación es 1, por que la toma de datos de los indicadores será en el Área de Control de Obras de Indeci del distrito de Ica antes y después de la implementación del Sistema.

Diseño de experimentos: Gexp O1 X O2

Donde:

Gexp: Es la muestra.

O1: Medición de los valores de los Indicadores antes de experimento

X: Aplicación o uso del Sistema de Red Neuronal Artificial

O2: Medición de los valores de los Indicadores después del experimento

En mi Grupo (Muestra) voy a aplicar un modelo de evaluación basado en redes neuronales para evaluar el nivel de daños en las viviendas luego de ocurrir un sismo (X) y después que voy a leer los indicadores (VD).

### Recursos

#### Humanos

- Investigador
- Analista de sistemas
- Programador

#### Materiales

- CD-ROM
- Ambiente adecuado para la investigación.

#### Técnicos

- Computadora Pentium Core 2 Dúo
- Software MATLAB, Neural Network ToolBox 6.0

### Construcción sismorresistente

Perú se encuentra ubicado en una zona sísmica, cada cierto tiempo ocurren terremotos que hacen que las viviendas mal construidas sufran daños importantes.

### Característica del suelo

Es el terreno donde nos encontramos. Se forma generalmente por la descomposición de rocas. La acción del agua, del viento y de los seres vivos, también produce modificaciones en el suelo. No todos los suelos son iguales.

Los suelos más comunes son:

- a. **Las gravas:** Son pequeñas partículas de rocas, se hallan cerca de ríos, por el desgaste algunas son redondeadas. Casi siempre se encuentran con cantos rodados.
- b. **La arena:** Son los materiales de granos finos procedentes de la fragmentación de las rocas. La que sirve para construcción es la arena de río, pues la de playa tiene muchas sales que dañan el concreto.
- c. **Limos:** Son suelos de granos finos que casi no pueden moldearse al humedecerse, se consideran suelos pobres para cimentar, pues son suelos "débiles".
- d. **Arcillas:** Se caracteriza por ser moldeable al mezclarse con agua y muy duro al calentarse a altas temperaturas (+800°C). La conocemos en forma de ladrillos, ollas de barro, o plastilina.
- e. **Caliche (salitroso):** El caliche es un depósito endurecido de sales, de color blanquecino amarillento y donde este se mezcla con otros materiales, como arena, arcilla, limo y grava.

Se puede encontrar caliche en zonas áridas o semiáridas como en el desierto de Pisco o Ica. Es importante conocer los suelos porque así podemos fortalecerlos y adaptarlos para que se pueda construir sobre ellos.

### Principales problemas en suelos

#### a. Suelos Expansivos:

Son los suelos que pueden reducir o agrandar su volumen debido a la humedad presente.

#### b. Suelos con Rellenos Artificiales:

Un suelo rellenado puede estar formado por desmonte o residuos de materiales de construcción. Otro caso es el de relleno sanitario (desechos o basura), estos suelos son focos de contagio de enfermedades.

### c. Licuación de suelos

Es la transformación de un suelo arenoso, a un suelo sin firmeza ni rigidez. Se le llama licuación porque el suelo se comporta como un líquido, hundiéndose o sobresaliendo.

#### Norma Construcciones Sismorresistente

Estas recomendaciones se encuentran especificadas en la Norma E.070 (Sencico).

#### Componentes de la Estructura Sismorresistente (Concreto Armado)

En una construcción confinada se caracteriza por estar íntegramente bordeada por elementos de concreto armado.

- Cimentación corrida de concreto
- Sobrecimiento de concreto con piedras medianas.
- Muro de albañilería.
- Columnas de confinamiento.
- Viga
- Losa de techo, que comprende las vigas soleras que corren encima de los muros y dinteles.

#### Importancia de los elementos estructurales

Los elementos estructurales, como las columnas y vigas tienen gran influencia en reducir los daños sísmicos. Es muy importante que la dimensión de la columna en la dirección flexible tenga la suficiente longitud para que, con la viga de amarre, los otros elementos rigidizantes que se le adicionen a las viviendas formen un conjunto espacial continuo que atraiga hacia sí el mayor porcentaje de la cortante sísmica.



Figura N.º 1. Vivienda afectada.

## IMPLEMENTACIÓN DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

### Metodología en redes neuronales aplicadas

Pasos para construir, entrenar y probar una red neuronal para predecir el Índice de Daño en las viviendas luego del sismo, utilizando los indicadores de evaluación de las viviendas, otorgado por el INDECI del distrito de Ica.

### Normalización de Datos

Transformar las cantidades de la evaluación de los datos históricos comprendidos entre 0 y 1, utilizando la siguiente fórmula.

$$Z_t = \frac{Y_t - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}}$$

Donde:

Y<sub>t</sub>: Son los valores originales del Daño histórico.

Min: Valor mínimo del Grado de Daño.

Max: Valor máximo de Grado de Daño

Z<sub>t</sub>: Índice histórico transformado en valores entre 0 y 1

Una vez normalizado los datos, se formó los retrasos a usar por el algoritmo.

### Valores de Entrenamiento y Prueba

Los valores de la serie de tiempo se dividen en dos conjuntos de datos:

Valores de Entrenamiento: está formado por el 80% de los datos.

Se selecciona en forma consecutiva y ordenada. Este conjunto de datos es el que se utiliza para el entrenamiento de la red neuronal.

Valores de Prueba: Está formado por el 20% de los datos, corresponden a los datos restantes, una vez que se han seleccionado los valores de entrenamiento. Este conjunto de datos se utiliza para evaluar la capacidad de predicción de la red.

### Topología de la Red Neuronal Artificial

- Dirección de Información: Alimentación adelantada
- Tipo de Interconexión: Totalmente conectada
- Número de Entradas: 1
- Numero de Capas Ocultas: 1
- Numero de Niveles en la Capa oculta: Q
- Numero de Salidas: 1

- Función de Activación de los nodos de la capa oculta
- Función de activación de Salida

### Identificación de las Entradas

La periodicidad de los datos: la investigación utiliza rango de datos constantes, por lo tanto se considera construir la red con los 10 retrasos y se analiza los pesos, de manera de que poder seleccionar las entradas asociadas a los pesos de mayor longitud. El canal de los pesos ayudará a identificar las variables de entrada más importante.

### Determinación del Número de Nodos de la capa Oculta (Q)

Una regla sugerida en experimentos previos ha resultado de utilidad, igualar el número de nodos de la capa oculta sea igual al promedio entre el número de entradas y salida.

### Selección de los Pesos Iniciales

La selección de los pesos iniciales es la parte más crítica, es recomendable probar con diferentes conjuntos de valores iniciales de generar aleatoriamente 50 veces.

Se selecciona la serie de errores que obtenga el menor promedio entre la suma de los cuadrados de los errores que de ajuste y predicción.

### Entrenamiento de la red neuronal

Para entrenar a la red neuronal es necesario establecer las siguientes parámetros:

- El número máximo de ciclos y el error permitido de convergencia se fijará por ensayo y error.
- Tasa de Aprendizaje incremento de la tasa de aprendizaje.

Estos valores fueron seleccionados según la evaluación del promedio de las Suma de los cuadrados de los errores en el momento del ajuste y predicción.

### Predicción

Usando la ecuación de predicción definida por la RNA se obtiene el valor de predicción  $t+1$ , se utiliza esta como entrada para producir la predicción  $t+2$ , y sucesivamente para todo conjunto de la predicción.

### Desarrollo de la Solución con RN

#### Evaluación del daño en vivienda afectada por el Sismo utilizando Redes Neuronales

El Grado de daño en la vivienda (GDV) está en función de las condiciones de la vivienda después de sismo (CVPS), tenemos por tanto:  $GDV = f(CVPS)$

La red neuronal escogida para la solución al problema de la evaluación del daño en vivienda post sísmico es la red neuronal BackPropagation, las razones por la que es más adecuada esta red son las siguientes:

- La relación existente entre los patrones de entrada y la salida son del tipo no lineal ya que no hay un algoritmo que pueda relacionar este comportamiento entre el número de entradas y la salida.
- El aprendizaje es supervisado debido a que hay que hacer una corrección de error ajustando los pesos.
- La variabilidad en el número de capas ocultas y parámetros permiten hacer un mejor ajuste del problema.
- Podemos concluir que la Red Backpropagation es adecuada para este dominio del problema, puesto que permite manejar la falta de ortogonalidad de los patrones, por lo que la red aprende en la etapa de entrenamiento logrando que de esta manera predecir correctamente.

Para la implementación se realizan las siguientes etapas:

- A. Filtrado y clasificación de datos
- B. Selección de variables Independientes
- C. Extracción del Conocimiento de la Red
- D. Validación y Evaluación

#### Selección de Variables

Variable Independiente  $X$ =Condiciones de Vivienda.

Variable Dependiente  $Y$ =Grado de Daño en Vivienda afectada por el Sismo.

Para la matriz de entrenamiento consideraremos que las condiciones de vivienda están representadas por las variables de entradas:

- Condiciones Estructurales
- Condiciones No Estructurales.

El grado de Daño en la vivienda por las variables de salida  $S1, S2, S3, S4, S5$

Por tanto la función de Predicción será:  $(S1, S2, S3, S4, S5)=f(A, B)$

**Topología de Red:**

Se utilizó una Red MLP Backpropagation y un entrenamiento supervisado.

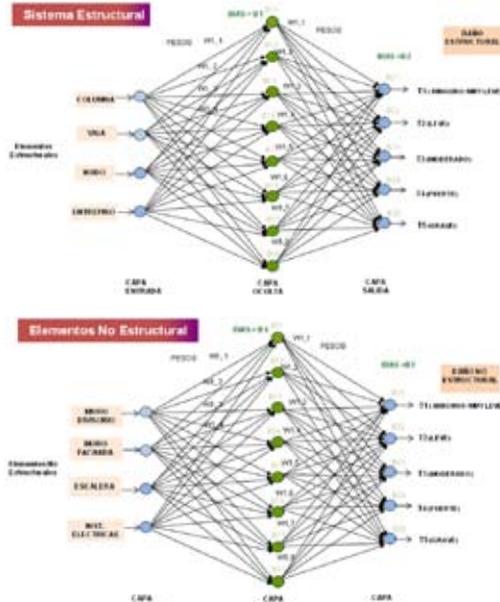


Figura N.º 2. Modelo de Red MLP.

**Evaluación de Daños en el Sistema Estructural**

Para la evaluación de los daños en las viviendas afectadas por el sismo se utilizó las Tablas de Nivel de daños según elementos estructurales Columna, Viga, Nudo y Entrepiso.

Los elementos estructurales que se evalúan dependen del sistema estructural, para cada uno de los elementos se asigna el nivel de daño dependiendo de lo observado por el evaluador, a partir de este nivel se pueden obtener el nivel de daño en el Sistema Estructural de la Vivienda.

Elementos estructurales:

- Columna
- Viga
- Nudo
- Entrepiso

El nivel de daño en cada uno de los elementos estructurales se clasifica de acuerdo a una escala: Por ejemplo en el caso de columna:

Niveles de Daños	Descripción de Daño - Columna
Ninguno/Muy leve	Las Fisuras de la Columna observada está en rango de $<0.001-a>$ mm o son imperceptibles a simple vista.
Leve	Las rajaduras, grietas en la Columna con dimensiones entre los $<a-b>$ mm en la superficie de la columna.
Moderado	Las grietas son con dimensiones entre $<b-c>$ mm, se observa también pérdida de algún recubrimiento (Tartajeo) de la columna.
Fuerte	Las grietas son perceptibles por la pérdida del recubrimiento (tartajeo) y exposición de las barras de la columna.
Grave	Se observa agrietamientos profundos y aplastamiento de la columna como deformaciones excesivas.

Tabla N.º 5. Nivel Daño - Columna.

En forma similar se describe para los otros elementos estructurales

**Evaluación de Daños en los Elementos No Estructurales**

Para la evaluación de los daños en las viviendas afectadas por el sismo se utilizó las Tablas de Nivel de daños según elementos no estructurales Muro Divisorios, Muro de Fachada, Escalera e Instalaciones Eléctricas.

Elementos no estructurales:

- Muros divisorios
- Muros de fachada
- Escaleras
- Instalaciones eléctricas

El nivel de daño en cada una de los elementos no estructurales se clasifica de acuerdo a una escala: Por ejemplo en el caso de **los muros divisorios**, el cortante del agrietamiento produce grietas diagonales usualmente en forma de equis. Estos efectos se producen durante casi todos los terremotos, especialmente en sistemas estructuras de concreto armado utilizando ladrillos y entramado con columnas y vigas.

Niveles de Daños	Descripción de Daño – Muro Divisorios
Ninguno/Muy leve	Las fisuras son pequeñas y se observa que están en el rango <math><0.01-a1>mm.</math> en el muro divisorio.
Leve	Las rajaduras, grietas en el muros divisorios con dimensiones entre los <math><a1-b1>mm</math> en la superficie del muro.
Moderado	Las grietas son con dimensiones considerable entre <math><b1-c1>mm</math> en el muro. También se aprecia algún desprendimiento.
Fuerte	Las grietas son en forma diagonal estas grietas son mayores a <math>c1mm.</math>
Grave	Se Observa desprendimiento como aplastamiento y desplome del muro.

Tabla N.º 6. Nivel Daño – Muro Divisorio.

En forma similar se describe para los otros elementos no estructurales.

**Estandarización de datos**

Con el fin de manejar los datos en forma eficiente se estandarizan los valores utilizados

**a. Condición de sistema estructural**

Elemento estructural	Codificación	Normalizado
Muy Leve/Ninguno	1	0.2
Leve	2	0.4
Moderado	3	0.6
Fuerte	4	0.8
Grave	5	1.0

Tabla N.º 7. Sistema Estructural.

**b. Condición no estructural**

Elemento no estructural	Codificación	Normalizado
Muy Leve/Ninguno	1	0.2
Leve	2	0.4
Moderado	3	0.6
Fuerte	4	0.8
Grave	5	1.0

Tabla N.º 8. Sistema No Estructural.

**Desarrollo del Modelo Neuronal para Sistema Estructural de Vivienda**

Se desarrolló una estructura neuronal de retropropagación de error con 4 neuronas de entrada, que constituyen las variable del Sistema Estructural (Columna, Viga, Nudo, Entrepiso) y 5 neuronas de salida que representan el tipo de daño estructural de la vivienda.

El establecimiento del número de neuronas de la capa oculta se realiza mediante la prueba de ensayo y error para lo cual hacemos uso del Programa de MATLAB.

A partir de los 120 datos recogidos de la información de levantamiento de información por los especialistas en estructuras, se dividen en dos grupos el 80% para el aprendizaje de la red neuronal y el 20% para la evaluación del rendimiento de la red neuronal mediante este grupo de datos que no han participado en el proceso de aprendizaje se utilizan de esta manera 2496 datos contenidos en la Tabla N.º 1 que está en el anexo.

Para verificar utilizamos el algoritmo de aprendizaje Levenberg-Marquardt, así que la comparación de los datos de salida de la red con el vector objetivo permitió la generación de errores cuadráticos, utilizados en el algoritmo de aprendizaje para la actualización de los pesos.

**b. Determinado las iteraciones de la red neuronal**

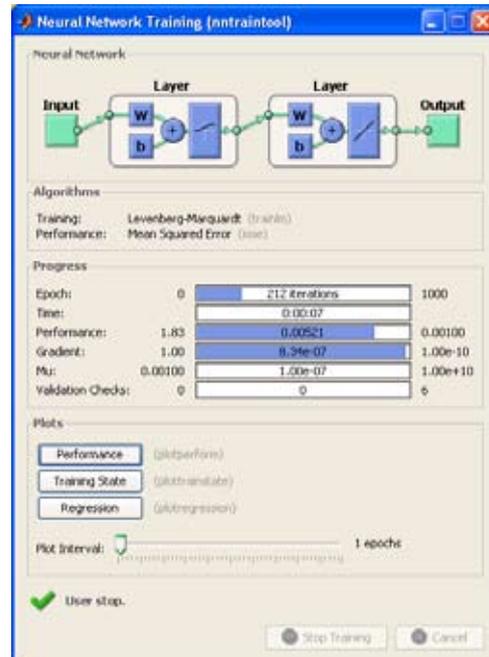


Figura N.º 3. Dinámica de la Función de error Entrenamiento SE.

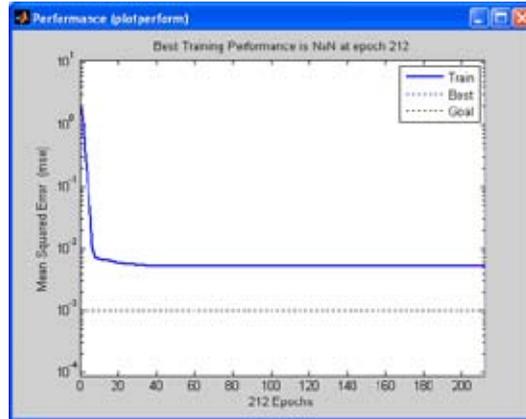


Grafico N.º 1. Performance según Error Medio Cuadrático. Daño en Sistema Estructural.

**c. Determinado los valores de Pesos y Bias**

net.IW{1} :

wij	J=1	2	3	4
i=1	0.620868070138920	-28.2934974103664	-35.9759171799555	-0.620584771210384
2	-21.2076267880572	-94.7716958701317	-4.52741693814842	21.2116320274513
3	18.8915090421230	-16.9069232628189	-6.59710417948545	9.36868128798240
4	18.2162827782192	-63.3476673169056	0.462816680319432	-18.6783516665611
5	0.0133782495046475	58.7666341499734	60.7179461169922	0.0182353196657924
6	-11.7382972102672	60.2526285498360	-0.0719570923772491	11.8115210010641
7	-0.0707878315461255	3.48322127657905	7.16945305465597	0.0688754907097932
8	0.739407953528566	-37.9729760358893	0.183585167635648	-0.189369264864904

Tabla N.º 9. Pesos net.IW{1} -SE.

net.b{1}:

wij	j=1
i=1	60
2	95
3	-5
4	20
5	-78
6	-22
7	-15
8	7

Tabla N.º 10. Bias net.b{1} -SE.

net.LW{2}

wij	j=1	2	3	4	5	6	7	8
i=1	-0.000194	-0.000008	0.000013	0.012959	0.000008	0.008190	-0.009733	1.906173
2	0.000039	0.000003	-0.000014	-14.004313	0.000041	-8.360421	0.003552	10.806340
3	0.194980	0.001954	0.000098	13.990398	-1.010148	8.351507	10.515380	-12.711673
4	5.799818	0.751681	-0.000125	0.000295	1.009867	0.000293	-9.232176	-0.000249
5	-5.994644	-0.753630	0.000029	0.000661	0.000232	0.000431	-1.277022	-0.000591

Tabla N.º 11. Pesos net.LW{2} –SE.

net.b{2}

wij	j=1
i=1	-0.00799491359639241
2	8.36033799192514
3	-7.54867935775870
4	-6.55158171646304
5	6.74791799589300

Tabla N.º 12. Bias net.b{2} –SE.

### Desarrollo del modelo neuronal para elementos no estructurales de la vivienda

Se desarrollo una estructura neuronal de retropropagación de error con 4 neuronas de entrada, que constituyen las variables de los elementos no estructural (Muro Divisorio, Muro de Fachada, Escalera, Sistema Eléctrico) y 5 neuronas de salida que representan el tipo de daño no estructural de la vivienda.

El establecimiento del número de neuronas de la capa oculta se realiza mediante la prueba de ensayo y error para lo cual hacemos uso del Programa de MATLAB.

A partir de los 120 datos recogidos de la información de levantamiento de información por los especialistas en estructuras, se utilizan 96 datos contenidos en la Tabla I que está en el anexo.

Utilizamos el algoritmo de aprendizaje Levenberg-Marquardt, así que la comparación de los datos de salida de la red con el vector objetivo permitió la generación de errores cuadráticos, utilizados en el algoritmo de aprendizaje para la actualización de los pesos.

#### a. Aplicación en MATLAB para elementos no estructurales de la vivienda

Numero Neuronas por Capas	Error medio Cuadrático (Entrenamiento)	Error medio Cuadrático (Predicción)	Epochs
4 4 5	0.00208	5.7641e+003	1000
4 8 5	0.00208	0.0737	1000
4 12 5	0.00208	3.1360	1000

Tabla N.º 4-22. Número Capas- elementos no estructural.

**b. Determinado las iteraciones de la red neuronal**

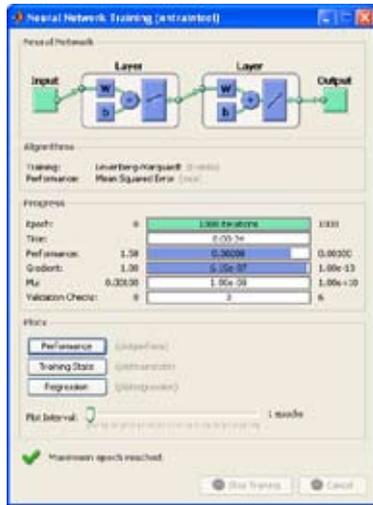


Figura N.º 5. Dinámica de la Función de Entrenamiento – ENE.

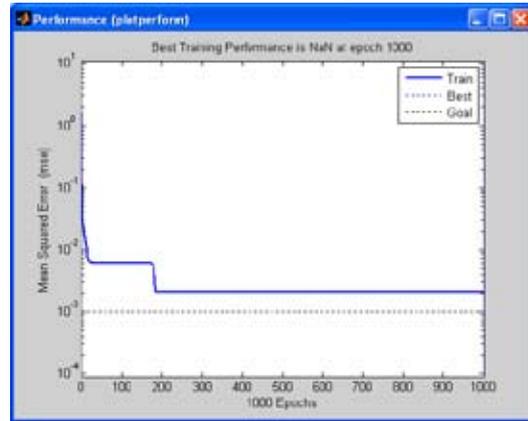


Gráfico N.º 2. Performance según Error Medio Cuadrático. Daño en elementos no estructural.

**c. Determinado los valores de Pesos y Bias**

net.IW{1}

wij	j=1	2	3	4
i=1	-7.869359371447640	-37.103472112508400	-50.893436225414600	-0.360950197560904
2	25.166321535623900	25.393725402148900	-4.836451970635840	29.729185906252300
3	-27.152437367354800	-44.067761560648500	41.961011206128600	-31.708383808295700
4	21.275426124504200	50.129476969962400	75.928794240077700	0.230257076108634
5	-45.440754417974500	-0.957874444354002	-2.466831518214410	-0.047530757660760
6	93.924230469455800	91.739418252341100	90.516294497707300	1.362389129452770
7	-24.740295409017900	-35.074034752362800	32.963703621441300	-29.281092930288300
8	0.000052445215429	0.000100700739269	0.000017682521070	0.000046855213041

Tabla N.º 13. Pesos net.IW{1} –ENE.

net.b{1}

wij	j=1
i=1	57.8471
2	-59.6612
3	49.6699
4	-90.1568
5	7.8694
6	-120.2049
7	45.1968
8	-0.7813

Tabla N.º 4-24. Bias net.b{1} –ENE.

net.LW{2}

wij	j=1	2	3	4	5	6	7	8
i=1	0.00000663	-0.00002386	0.00005619	-0.00000727	7.77570488	0.00007465	-0.00006394	1.80970092
2	-0.00002872	-0.00006440	0.00014762	-0.00004923	-7.77560509	-1.00018085	-0.00016970	4.76331869
3	-0.53908345	-0.00000094	-0.00013546	-1.53897430	-0.00028405	1.00011457	0.00007797	-9.82040488
4	0.53889782	-3.24701393	8.78118759	1.53890821	-0.00081440	0.00006274	-11.02853914	-14.36716271
5	0.00020773	3.24710313	-8.78125594	0.00012258	0.00099865	-0.00007111	11.02869481	17.61454796

Tabla N.º 14. Pesos net.LW{2} -ENE.

net.b{2}

wij	j=1
i=1	-0.568456318672113
2	-0.495826738906205
3	3.62337332607051
4	6.22070762246873
5	-7.77979788755439

Tabla N.º 15. Pesos net.b{2} -ENE.

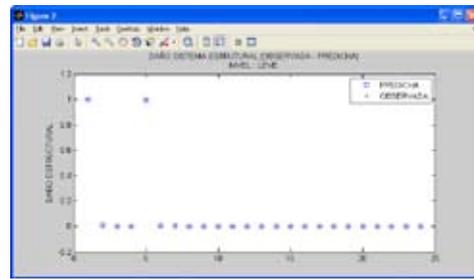


Gráfico N.º 4. Daño Sistema Estructural – Leve.

## Evaluación del Rendimiento de la Red Neuronal

### A. RNA DAÑO SISTEMA ESTRUCTURAL

La evaluación del rendimiento de la RNA se realiza con el grupo de datos que no ha participado en el proceso de aprendizaje, para este caso el rendimiento de la RNA será por el número de clasificados correctamente.

Para este caso la evaluación de la RNA se realizó con el 20% de los datos totales (24 Registros de las viviendas evaluadas por el evaluador de Defensa Civil-Ficha de evaluación de elementos estructurales)

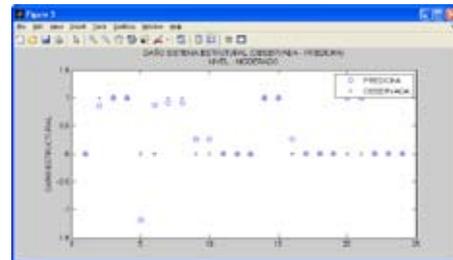


Gráfico N.º 5. Daño Sistema Estructural – Moderado.

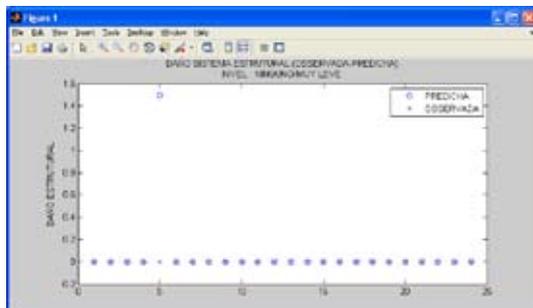


Gráfico N.º 3. Daño Sistema Estructural – Ninguno/Muy Leve.

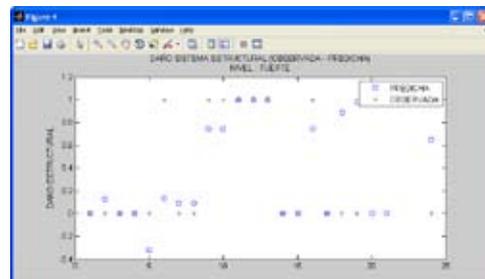


Gráfico N.º 6. Daño Sistema Estructural – Fuerte.

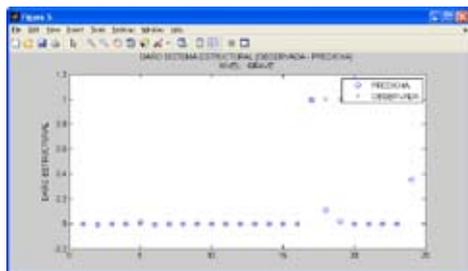


Gráfico N.º 7. Daño Sistema Estructural – Grave.

Se puede ver según las gráficas del Daño del Sistema Estructural según el nivel de daño (Ninguno/Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte y Grave) en los elementos estructurales (Columna, Viga, Nudo y Entrepiso) según el dato observado y de la predicha por la red neuronal, donde se puede entonces ver la aproximación y establecer la efectividad de la predicción según la siguiente tabla.

EVALUACIÓN DEL RNA EN EL SISTEMA ESTRUCTURAL																
Nº	ENTRADA				DAÑO ESTRUCTURAL						PREDICCIÓN RED NEURONAL					A C I E R T O
	Columna	Viga	Nudo	Entrepiso	DE	T1	T2	T3	T4	T5	T1 N/ Muy Leve	T2 Leve	T3 Moderado	T4 Fuerte	T5 Grave	
1	0.2	0.4	0.4	0.4	2	0	1	0	0	0	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1
2	0.4	0.4	0.6	0.6	3	0	0	1	0	0	-0.004	0.015	0.863	0.129	-0.003	1
3	0.4	0.4	0.4	0.4	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
4	0.4	0.8	0.8	1	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
5	0.2	0.4	0.4	0.4	2	0	1	0	0	0	1.497	0.997	-1.190	-0.320	0.016	1
6	0.4	0.4	0.6	0.6	4	0	0	0	1	0	-0.004	0.005	0.872	0.130	-0.003	
7	0.4	0.4	0.4	0.4	3	0	0	1	0	0	-0.002	0.004	0.909	0.089	0.001	1
8	0.4	0.8	0.8	1	3	0	0	1	0	0	-0.002	0.001	0.911	0.089	0.001	1
9	0.2	0.4	0.4	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.261	0.739	0.000	1
10	0.4	0.4	0.6	0.6	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.261	0.739	0.000	1
11	0.4	0.4	0.4	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
12	0.4	0.8	0.8	1	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
13	0.2	0.4	0.4	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
14	0.4	0.4	0.6	0.6	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
15	0.4	0.4	0.4	0.4	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
16	0.4	0.8	0.8	1	4	0	0	0	1	0	0.000	0.001	0.260	0.739	0.000	1
17	0.2	0.4	0.4	0.4	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.003	0.997	1
18	0.4	0.4	0.6	0.6	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.890	0.110	
19	0.4	0.4	0.4	0.4	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.980	0.020	
20	0.4	0.8	0.8	1	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	
21	0.2	0.4	0.4	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	
22	0.4	0.4	0.6	0.6	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
23	0.4	0.4	0.4	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
24	0.4	0.8	0.8	1	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.647	0.353	
																18

Tabla N.º 16. Evaluación del RNA-Sistema Estructural.

Realizando la evaluación para ver el número de aciertos que han sido clasificados correctamente en este caso es 18 aciertos lo que representa el 75% de aciertos, por lo que el rendimiento de la red neuronal propuesta tiene un rendimiento de 75%.

**B. RNA DAÑO EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

La evaluación del rendimiento de la RNA se realiza con el grupo de datos que no ha participado en el proceso de aprendizaje, se realiza con el grupo de datos que no ha participado en el proceso de aprendizaje, para este caso el rendimiento de la RNA será por el número de clasificados correctamente.

Para este caso la evaluación de la RNA se realizó con el 20% de los Datos totales (24 Registros de las viviendas evaluadas por el evaluador de Defensa Civil-Ficha de evaluación de elementos no estructurales)

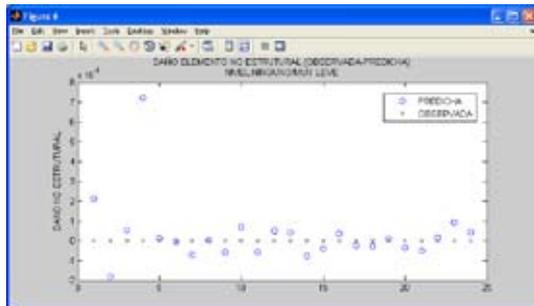


Gráfico N.º 8. Daño Elemento No Estructural – Ninguno/Muy Leve.

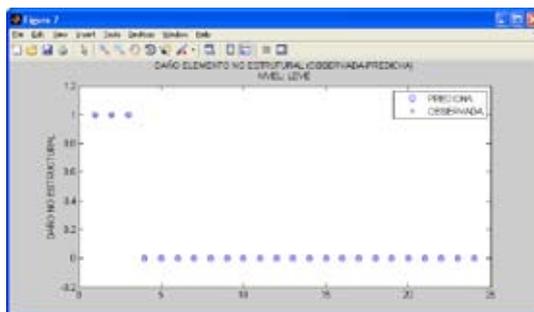


Gráfico N.º 9. Daño Elemento No Estructural – Leve.

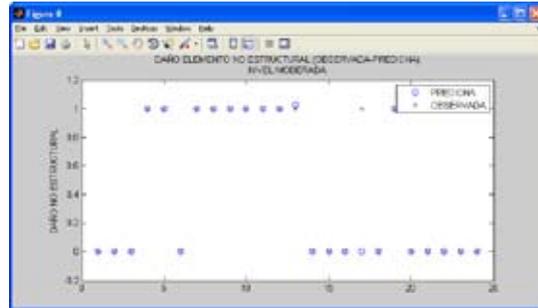


Gráfico N.º 10. Daño Elemento No Estructural – Moderado.

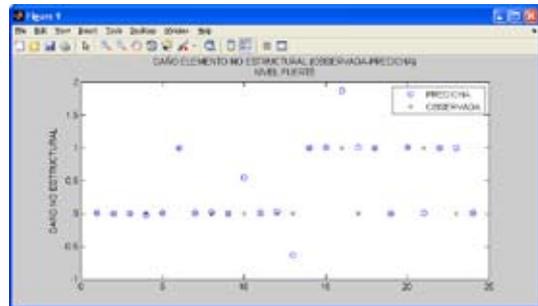


Gráfico N.º 11. Daño Elemento No Estructural – Fuerte.

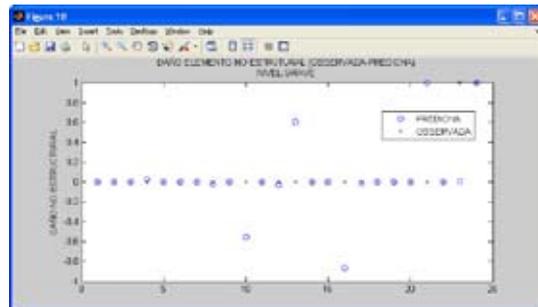


Gráfico N.º 12. Daño Elemento No Estructural – Grave.

Se puede ver según las gráficas del daño del sistema no estructural según el nivel de daño (Ninguno/Muy leve, Leve, Moderado, Fuerte y Grave) en los elementos no estructurales (Muros Divisorios, Muro de fachada, Escaleras y Sistema Eléctrico) según el dato observado y de la predicha por la red neuronal, donde se puede entonces ver la aproximación y establecer le efectividad de la predicción según la siguiente tabla.

EVALUACIÓN DEL RNA ELEMENTOS NO ESTRUCTURAL																
N°	ENTRADA				DAÑO NO ESTRUCTURAL					PREDICCIÓN RED NEURONAL					ACIERTO	
	Mur Div	Mur Fac	Esc	Elec	DNE	T1	T2	T3	T4	T5	T1 N/ Muy Leve	T2 Leve	T3 Moderado	T4 Fuerte		T5 Grave
1	0.4	0.4	0.2	0.6	2	0	1	0	0	0	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1
2	0.4	0.4	0.4	0.6	2	0	1	0	0	0	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1
3	0.4	0.6	0.2	0.2	2	0	1	0	0	0	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1
4	0.4	0.8	0.2	0.2	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	-0.028	0.028	1
5	0.6	0.6	0.6	0.6	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
6	0.6	0.8	0.6	0.6	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
7	0.6	0.4	0.4	0.4	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
8	0.6	0.4	0.4	0.8	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.018	-0.018	1
9	0.6	0.4	0.6	0.4	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
10	0.6	0.6	0.4	0.8	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.549	-0.549	1
11	0.6	0.6	0.6	0.2	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
12	0.6	0.6	0.6	0.8	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.027	-0.027	1
13	0.6	0.8	0.4	0.4	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.025	-0.632	0.607	1
14	0.6	0.8	0.6	0.2	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
15	0.6	0.8	0.6	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
16	0.6	0.8	0.6	0.8	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.862	-0.862	1
17	0.8	0.6	0.6	0.6	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	0.002	1.009	-0.011	
18	0.8	0.6	0.8	0.6	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
19	0.8	0.6	0.4	0.2	3	0	0	1	0	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1
20	0.8	0.8	0.6	0.2	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
21	0.8	0.8	0.6	1	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	0.002	0.998	
22	0.8	0.8	0.8	0.4	4	0	0	0	1	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1
23	0.8	1	0.8	0.4	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.993	0.007	
24	0.8	1	0.8	1	5	0	0	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1
															21	

Tabla N.º 17. Evaluación del RNA-Sistema No Estructural.

Los resultados de la evaluación del desempeño de la RN muestra que se ha pronosticado correctamente son 21 de 24 lo que representa el 87.5% de aciertos.

#### Tabla de Decisión para el Daño de Vivienda

Mediante esta tabla de decisión se establece el daño final en la Vivienda según el daño estructural y daño

de elementos no estructurales. Según el tipo de daño esta puede ser Muy Leve, Leve, Moderada, Fuerte o Grave, según los datos utilizados para el aprendizaje como para la evaluación de efectividad de la RNA, en conjunto el grupo del Nivel de daño Fuerte y Grave (47%) que es como el nivel de colapso que han tenido las viviendas afectadas por el sismo.

DAÑO EN VIVIENDA					
DAÑO NO ESTRUCTURAL DAÑO ESTRUCTURAL	NINGUNO / MUY LEVE	LEVE	MODERADO	FUERTE	GRAVE
NINGUNO / MUY LEVE	Ninguno/Muy Leve	Leve	Leve	Leve	Moderado
LEVE	Leve	Leve	Moderado	Moderado	Fuerte
MODERADO	Moderado	Moderado	Moderado	Fuerte	Grave
FUERTE	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Grave	Grave
GRAVE	Grave	Grave	Grave	Grave	Grave

Tabla N.º 18. Daño en Vivienda Según Daño Estructural y Daño no Estructural.

## CONCLUSIONES

1. Los datos que se utilizan para la fase de entrenamiento de la red neuronal deben ser de calidad porque de estos se obtendrá el conocimiento para clasificar el Nivel de Daño en las viviendas afectadas, estos datos son tomados de la inspección del daño en las viviendas afectadas por el sismo del 15 de agosto de 2007.
2. La red neuronal para evaluar el daño en el sistema estructural ha tenido una eficacia en la predicción del 75% y para el daño en elementos no estructurales se obtuvo una predicción del 87.5% según los datos experimentales obtenidos de la inspección en las viviendas dañadas que no fueron utilizados en la fase de entrenamiento de la red neuronal.
3. De los resultados obtenidos se aprecia que los daños en el sistema estructural afecta en gran parte la estructura de la vivienda y colapso de la misma, mientras que los daño en los elementos no estructurales representa un riesgo para los ocupantes de la vivienda después del sismo, pues estos elementos son los que mayormente causan daños a las personas después del sismo.
4. Finalmente como en el Perú está ubicado en una zona de alta sismicidad, se debe contar con un sistema que ayude a la evaluación del daño sísmico en viviendas construidos con concreto armado.
5. Dada la urgencia con que se debe efectuar la tarea de evaluación de viviendas afectadas por el sismo y debido al gran número de viviendas que son afectadas un sistema de apoyo para la toma de decisión en la evaluación de viviendas afectadas por sismo.
6. Adaptar la evaluación de Daños en las Viviendas causada por el sismo para diferentes sistemas constructivos con los que se edifican las viviendas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### I. Bibliografía Especializada

1. [DEL 06] Del Brio, Martín, "Redes Neuronales y Sistemas Borrosos", Editorial Ra-Ma, 2006
2. [ESP 00] Espinoza Espinoza, Ismael, Los Robots Flexibles y las Redes Neuronales, UNAM, Facultad de Ciencias (2000), México DF.

### Revistas Especializadas

1. [BER 01] Berna Reza, Miguel Ángel, Redes Neuronales, avance y perspectiva, 2001.
2. [VAS 01] Vásquez, Eduardo Que son las redes Neuronales, Revista Tópicos de Investigación postgrado, Vol. 2, Nro 3, 2001.

### II. Manuales y Guías

1. [Tor 08] Torrealva Davial, Daniel, San Bartolomé Ramos, Angel, Zavala Toledo, Carlos, Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes, 2008.
2. [Zab 09] Zabarburu Goñaz, Willy, De La Cruz Ramirez, Miriam, Guía de Orientación en Técnica de Construcción, Vol. 1, 2009.

### III. Direcciones Electrónicas

1. [WWW 01] <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/Capitulo01/RNArtificial.html>
2. [WWW 02] <http://www.electronica.com.mx/neural/informacion/perceptron.html>
3. [WWW 03] [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/tesis/Basic/Villanueva\\_EM/Contenido.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/tesis/Basic/Villanueva_EM/Contenido.htm)
4. [WWW 04] <http://www.ci.ulsu.mx/Negr/docencia/ma>
5. [WWW 05] <http://gpds/uv/es/nn>
6. [WWW 06] [http://www.tdx.cesca.es/Tesis\\_UIB/Available/Tdx-0713104-100204](http://www.tdx.cesca.es/Tesis_UIB/Available/Tdx-0713104-100204)