



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN – TESIS DE GRADO

**AUTORES: MARIA AMPARO MEJIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DIRECTOR: JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS**

**TITULO DE LA TESIS PASANTÍA: IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL CONTEXTO DEL MONITOREO DE ESFUERZOS EN TIEMPO REAL DEL PUENTE DE PUERTO SALGAR UBICADO ENTRE CALDAS Y CUNDINAMARCA**

### **RESUMEN**

El siguiente trabajo se llevó a cabo con el fin de explorar que tan eficaz pueden resultar las redes neuronales al interactuar con el monitoreo de esfuerzos en tiempo real del puente de Puerto Salgar en Colombia apoyándose en información que el grupo de investigación de Estructuras de la Pontificia Universidad Javeriana ha venido obteniendo por medio de estudios de técnicas de confiabilidad estructural, sistemas de monitoreo e instrumentación y estudios especializados para la evaluación de puentes existentes.

### **CARACTERISTICAS**

PAGINAS 150 PLANOS    ILUSTRACIONES    CDROM    1

**PASANTÍA: IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE REDES NEURONALES  
ARTIFICIALES EN EL CONTEXTO DEL MONITOREO DE ESFUERZOS EN  
TIEMPO REAL DEL PUENTE DE PUERTO SALGAR UBICADO ENTRE  
CALDAS Y CUNDINAMARCA.**

**MARIA AMPARO MEJIA**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSE DE CUCUTA  
2006**

**PASANTÍA: IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE REDES NEURONALES  
ARTIFICIALES EN EL CONTEXTO DEL MONITOREO DE ESFUERZOS EN  
TIEMPO REAL DEL PUENTE DE PUERTO SALGAR UBICADO ENTRE  
CALDAS Y CUNDINAMARCA.**

**MARIA AMPARO MEJIA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Electrónico**

**Director  
JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSE DE CUCUTA  
2006**



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Cúcuta, 28 de Noviembre de 2006

HORA: 10:00

LUGAR: SALA 3 - EDIFICIO CREAD

Plan de Estudios: INGENIERIA ELECTRONICA  
Título de la Tesis: "PASANTIA: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN EL CONTEXTO DEL MONITOREO DE ESFUERZOS EN TIEMPO REAL DEL PUENTE DE PUERTO SALGAR UBICADO ENTRE CALDAS Y CUNDINAMARCA"

Jurados: LUCY GOMEZ MINA  
JAIME ELIECER VILLALOBOS  
JHOSMAN LEVY MORA

Director: JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación
MARIA AMPARO MEJIA	160362	Letra Número Cuatro, Cinco 4,5

### MERITORIA

  
LUCY GOMEZ MINA

  
JAIME ELIECER VILLALOBOS

  
JHOSMAN LEVY MORA

Vo.Bo. JHON JAIRO RAMIREZ MATEUS  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica

Martha

Av. Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag- Teléfonos: 5776655 ext: 115-116 Fax:  
5771988

Cúcuta - Colombia

A mis dos grandes madres: Marina Mejia y Fidedigna Sisa que son su sabiduría y sacrificios me han dado unos excelentes principios y educación.

A la mitad de mi vida Alberto Guerrero quien me ha alegrado cada instante dándome alegría, amor ternura, apoyándome en tiempos difíciles hasta superarlos para hacer realidad este logro.

A las almas de mi abuelo Ignacio Mejia y mi nona Pilar Benítez que estoy segura que donde estén se sienten orgullosos de mi.

A wilder Grueso y Andrés Páez quienes estuvieron en cada momento para guiarme hacia los caminos del triunfo.

A mis compañero de clases Richard Jiménez, Emel Grimaldo, Melisa Villareal, y a muchos otros que estuvieron acompañándome en diferentes momentos.

*Maria Amparo Mejia*

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora del trabajo expresa sus agradecimientos a:

A los directores del proyecto Ingeniero Nelson Obregón e Ingeniero Armando Becerra por su buena voluntad y por los conocimientos que me ofrendaron.

A la Universidad Javeriana por la oportunidad de realizar mi trabajo de grado, en especial al grupo de hidrosistemas por su compañerismo y su colaboración.

A la Universidad Francisco de Paula Santander pues estaré agradecida infinitamente porque gracias a ella he podido realizar mis estudios de ingeniería.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	19
1. EVALUACIÓN POR CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES EN ACERO APOYADA EN MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN POR EL GRUPO DE INVESTIGACION DE ESTRUCTURAS DE INGENIERIA CIVIL	24
2. LIMPIEZA DE LA TENDENCIA PRODUCIDA POR LA TEMPERATURA, RUIDO Y OTROS EFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS SEÑALES DE VOLTAJE PROVENIENTES DE LOS SENSORES DE PRESION STRAIN GAGES	31
2.1 METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS	31
2.2 ANALISIS BASICO LINEAL DE LAS SERIES DE TIEMPO	46
2.3 PROBABILIDAD APLICADA EN EL ANÁLISIS DE SEÑALES DE LAS SERIES RESULTANTES DE LOS SENSORES STRAIN GAGES	47
2.4 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER	55
2.5 FACTOR DE CORRELACION DE LAS SEÑALES RESULTANTES DE LOS SENSORES INSTALADOS EN EL PUENTE DE PUERTO SALGAR	67

2.6 REDES NEURONALES ARTIFICIALES	68
2.6.1 Reseña histórica	68
2.6.2 Redes neuronales biológicas	70
2.6.3 Analogía con las redes neuronales biológicas	72
2.6.4 Función de propagación o de red	73
2.6.5 Función de activación	73
2.6.6 Conexiones ponderadas	73
2.6.7 Salida	73
2.6.8 Definición rna según darpa, haykin, kohonen	74
2.6.9 Paralelismo masivo	75
2.6.10 Capacidad de aprendizaje y generalización	75
2.6.11 Auto organización	75
2.6.12 Operación en tiempo real	75
2.6.13 Proceso de escalamiento	76
2.6.14 Representación de una rna y sus elementos	78



2.6.15 Red Neuronal Perceptrón Multicapa	80
2.6.16 Redes Neuronales Tipo BackPropagation	80
2.6.17 Elementos de una Red Neuronal	81
2.7 ENTRENAMIENTO, CALIBRACION Y VALIDACION DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL	90
2.7.1 Entrenamiento de una red neuronal	90
2.7.2 Regla del gradiente descendente	90
2.7.3 Entrenamiento con aplicación del gradiente descendente en conjunto traingd	92
2.7.4 Entrenamiento con aplicación del gradiente descendente en conjunto, con momento traingdm	92
2.7.5 Entrenamiento con técnica de optimización de Levenberg-Marquardt trainlm	93
2.7.6 Funciones de aprendizaje	94
2.7.7 Fundamentación matemática de las redes neuronales artificiales	95
2.7.8 Entrenamiento de un Perceptrón sin capas ocultas	103
2.7.9 Entrenamiento de un Perceptrón Multicapa	107
3. MODELO CONCEPTUAL DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL	112

3.1 DEFINICIÓN DE TABLA DE PATRONES	113
3.2 RED NEURONAL UTILIZADA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL MONITOREO DEL PUENTE DE PUERTO SALGAR	113
3.2.1 Modelo computacional de la red neuronal artificial	114
3.2.2 Entrenamiento o Calibración de la Red	115
3.2.3 Simulación para la Validación de la Red	118
3.2.4 Experimento I. determinación de funciones de aprendizaje, entrenamiento y transferencia de la red	118
3.2.5 Experimento 2 determinación de funciones de aprendizaje, entrenamiento y transferencia de la red	119
4. CONCLUSIONES	122
5. RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	127