



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**” MONITOREO DE LA RED ELÉCTRICA DEL LABORATORIO  
DE MÁQUINAS DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y  
ELECTRÓNICA APLICANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTOR: BORIS MIGUEL CORONEL BASURTO**

**TUTOR: ING. EDWIN FERNANDO MEJÍA PEÑAFIEL**

Riobamba-Ecuador

2017

©2016, Boris Miguel Coronel Basurto

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

El Tribunal de Trabajo de Titulación: “MONITOREO DE LA RED ELÉCTRICA DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA APLICANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL”, de responsabilidad del señor Boris Miguel Coronel Basurto, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Luna E. <b>DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR EIE CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	-----	-----
Ing. Fernando Mejía P. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	-----	-----
Ing. Henry Vallejo V. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	-----	-----

Yo, **BORIS MIGUEL CORONEL BASURTO**, soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

-----  
Boris Miguel Coronel Basurto

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a Dios, a mis padres por su apoyo incondicional que siempre me supieron dar, a mis hermanos, a la familia Herrera Rodríguez por acogerme en su hogar en esta etapa de mi vida y a mis amigos que me acompañaron durante estos años en la ciudad de Riobamba.

**BORIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida y las fuerza por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Mario y Marilú por la confianza y perseverancia que tuvieron para que pueda lograr y obtener este título, a mis hermanos Mario y Denisse que siempre estuvieron pendiente de mí, A Doña Piedad y Don Klivan por todos los consejos que me supieron dar.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrir sus puertas y formarme como un profesional y un buen ser humano.

**BORIS**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>Amp</b>	Amperios
<b>Hz</b>	Hercio
<b>kvA</b>	Kilo Voltios Amperios
<b>kvAr</b>	Kilo Voltios Amperios Reactivos
<b>kW</b>	Kilo Vatios
<b>kWh</b>	Kilo Vatios Horas
<b>RNA</b>	Red Neuronal Artificial
<b>TC</b>	Transformador de Corriente
<b>V</b>	Voltaje
<b>VI</b>	Instrumentos Virtuales

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Inteligencia artificial en el monitoreo eléctrico .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Técnicas de la Inteligencia Artificial .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 Redes Neuronales Artificiales - RNA .....</b>	<b>4</b>
1.2.1.1 Modelo básico neuronal artificial.....	6
1.2.1.2 Ventajas de las Redes Neuronales Artificiales.....	7
1.2.1.3 Elementos de una Red Neural Artificial.....	8
1.2.1.4 Tipos de redes neuronales.....	9
1.2.1.5 Aprendizaje de las Redes Neuronales Artificiales.....	12
1.2.1.6 Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales.....	13
<b>1.3 REDES ELÉCTRICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.1 Redes de Energía de Alta Tensión.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 SISTEMA MONOFÁSICO Y TRIFÁSICO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.1 Sistema Trifásico.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 MATLAB .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6.1 Operaciones básicas .....</b>	<b>21</b>
<b>1.6.2 Operaciones con matrices .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6.3 Matlab y sus Toolbox .....</b>	<b>22</b>
1.6.3.1 Signal Processing Toolbox.....	23
1.6.3.2 The MATLAB C Math Library.....	23
1.6.3.3 The Matlab Compiler Toolbox.....	23
1.6.3.4 Symbolic Math Toolbox .....	23
1.6.3.5 Non Linear Control Design Toolbox .....	24



1.6.3.6	Neural Network Toolbox.....	24
1.6.3.7	Nag Foundation Toolbox .....	24
<b>1.7</b>	<b>LABVIEW.....</b>	<b>24</b>
1.7.1	<i>Partes Importes de LabVIEW.....</i>	25
<b>1.8</b>	<b>MICROSOFT OFFICE, EXCEL .....</b>	<b>26</b>
<b>1.9</b>	<b>Lenguaje de Programación Utilizado para Monitoreo.....</b>	<b>27</b>
1.9.1	<i>Clasificación.....</i>	28

## CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>El laboratorio de máquinas eléctricas de la Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales de la ESPOCH .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>Instalación Sistema de Monitoreo Eléctrico .....</b>	<b>36</b>
2.2.1	<i>Montaje y Cableado, Siemens SENTRON PAC3100.....</i>	37
2.2.2	<i>Convertor de comunicación RS485 a RS232.....</i>	39
2.2.3	<i>Comprobación de los parámetros del SENTRON PAC3100 .....</i>	40
<b>2.3</b>	<b>Obtención y adquisición de datos .....</b>	<b>44</b>
2.3.1	<i>Programación y configuración de adquisición de datos.....</i>	44
2.3.1.1	<i>Comunicación Modbus .....</i>	45
2.3.1.2	<i>Archivo donde se guardan los datos.....</i>	46
2.3.1.3	<i>Puerto USB.....</i>	47
2.3.1.4	<i>Parámetros seriales .....</i>	47
2.3.1.5	<i>Periodo de toma de datos.....</i>	48
2.3.1.6	<i>Tiempo desde la última toma de datos .....</i>	49
2.3.1.7	<i>Posición del Registro.....</i>	50
2.3.1.8	<i>Valor leído del registro. ....</i>	50
2.3.1.9	<i>Valor del registro leído .....</i>	51
2.3.1.10	<i>Sting que se guarda en Excel.....</i>	52
2.3.1.11	<i>Habilitación de lectura .....</i>	52
2.3.1.12	<i>Programa de adquisición de datos.....</i>	53
<b>2.4</b>	<b>Registro de datos del sentron PAC3100 .....</b>	<b>54</b>
2.4.1	<i>Registro en Excel.....</i>	54
2.4.2	<i>Codificación de datos .....</i>	56
2.4.3	<i>Datos en cambio de escala .....</i>	57
<b>2.5</b>	<b>Aplicación de Inteligencia Artificial .....</b>	<b>57</b>
2.5.1	<i>Ingreso de datos en Matlab.....</i>	58

<b>2.5.2</b>	<b><i>Creación de la Red Neuronal.....</i></b>	<b>58</b>
2.5.2.1	<i>Determinación de variable de entrada y salida.....</i>	60
2.5.2.2	<i>Porcentajes de datos de la red neuronal.....</i>	61
2.5.2.3	<i>Selección de capas ocultas.....</i>	61
2.5.2.4	<i>Tipo de Entrenamiento.....</i>	62
<b>2.5.3</b>	<b><i>Cambio de función de transferencia.....</i></b>	<b>64</b>

### **CAPITULO III**

<b>3</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1</b>	<b>Entrenamiento de la red neuronal.....</b>	<b>65</b>
3.1.1	<i>Desempeño de la red Neuronal.....</i>	66
3.1.2	<i>Estado del entrenamiento.....</i>	66
3.1.3	<i>Histograma de errores.....</i>	67
3.1.4	<i>Análisis de regresión.....</i>	68
<b>3.2</b>	<b>Predicción de los datos del sistema eléctrico.....</b>	<b>69</b>
3.2.1	<i>Predicción de una semana en el sistema eléctrico.....</i>	72
3.2.2	<i>Porcentaje de consumo por semana.....</i>	74
<b>3.3</b>	<b>Respuestas a las Interrogantes de la Formulación del Problema.....</b>	<b>75</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Operaciones aritméticas en Matlab.....	21
<b>Tabla 2-1:</b> Operaciones lógicas en Matlab.....	21
<b>Tabla 3-1:</b> Operaciones de comparación en Matlab.....	22
<b>Tabla 4-1:</b> Operaciones con matrices en Matlab.....	22
<b>Tabla 5-1:</b> Aplicaciones de LabVIEW .....	25
<b>Tabla 1-2</b> Descripción de los motores de practicas .....	35
<b>Tabla 2-2</b> Registro de datos a adquirir .....	54
<b>Tabla 3-2</b> Codificación de datos.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Similitudes funcionales de la neurona biológica y la neurona artificial....	6
<b>Figura 2-1</b> Neurona Artificial .....	6
<b>Figura 3-1</b> Funciones de las redes neurales.....	7
<b>Figura 4-1</b> Modelo de red neural artificial .....	9
<b>Figura 5-1</b> Modelo de Percepción clásico.....	10
<b>Figura 6-1</b> Modelo Adaline.....	10
<b>Figura 7-1</b> Percepción Multicapa.....	11
<b>Figura 8-1</b> Unidad básica de backpropagation.....	11
<b>Figura 9-1</b> Red de backpropagation .....	11
<b>Figura 10-1</b> Corriente continua y corriente alterna .....	14
<b>Figura 11-1</b> Esquema del suministro de Red eléctrica.....	16
<b>Figura 12-1</b> Tensión de sistema monofásico.....	17
<b>Figura 13-1</b> Tensiones de un sistema trifásico .....	17
<b>Figura 14-1</b> Medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100 .....	18
<b>Figura 15-1</b> Paleta de Funciones .....	26
<b>Figura 1-2</b> Diagrama de Bloques .....	29
<b>Figura 2-2</b> Panorámica de Laboratorio de máquinas eléctricas .....	30
<b>Figura 3-2</b> Tablero Trifásico del laboratorio.....	31
<b>Figura 4-2</b> Braker principal de 80 AMP .....	32
<b>Figura 5-2</b> Porta fusibles de 32 Amp .....	32
<b>Figura 6-2</b> Brakers de 3 polos de 63 Amp .....	33
<b>Figura 7-2</b> TC (transformadores de corriente) .....	33
<b>Figura 8-2</b> Barra de cobre de ¼ x ½ pulgadas .....	34
<b>Figura 9-2</b> Breakers de práctica .....	35
<b>Figura 10-2</b> Motor ABB.....	36
<b>Figura 11-2</b> Motor Voges.....	36
<b>Figura 12-2</b> Motor Three Phase .....	36
<b>Figura 13-2</b> Designación de Conexiones .....	37
<b>Figura 14-2</b> Designación de Conexiones .....	38
<b>Figura 15-2</b> Cableado de Sentron PAC3100.....	39
<b>Figura 16-2</b> Montaje de Sentron PAC3100 en caja térmica .....	39
<b>Figura 17-2</b> Conversor RS 485 a RS232.....	39
<b>Figura 18-2</b> Voltaje línea – neutro por cada línea.....	40
<b>Figura 19-2</b> Voltaje línea – línea por cada línea .....	40
<b>Figura 20-2</b> Corriente instantánea de línea .....	41

<b>Figura 21-2</b> Corriente nominal instantánea del sistema .....	41
<b>Figura 22-2</b> Potencia Aparente por línea .....	41
<b>Figura 23-2</b> Potencia Activa por línea .....	42
<b>Figura 24-2</b> Potencia Reactiva por línea .....	42
<b>Figura 25-2</b> Sumatorias de Potencias .....	42
<b>Figura 26-2</b> Factor de Potencia .....	43
<b>Figura 27-2</b> Frecuencia Instantánea .....	43
<b>Figura 28-2</b> Energía Activa.....	43
<b>Figura 29-2</b> Energía Reactiva .....	44
<b>Figura 30-2</b> Comunicación Modbus .....	45
<b>Figura 31-2</b> Archivo donde se guardan los datos.....	46
<b>Figura 32-2</b> Visualización del archivo donde se guardan los datos .....	47
<b>Figura 33-2</b> Puerto USB.....	47
<b>Figura 34-2</b> Visualización del Puerto USB.....	47
<b>Figura 35-2</b> Parámetros Seriales .....	48
<b>Figura 36-2</b> Visualización de los Parámetros Seriales.....	48
<b>Figura 37-2</b> Periodo de toma de datos .....	48
<b>Figura 38-2</b> Visualización del periodo de toma de datos.....	49
<b>Figura 39-2</b> Tiempo desde la última toma de datos .....	49
<b>Figura 40-2</b> Visualización del tiempo desde la última toma de datos.....	49
<b>Figura 41-2</b> Posición del Registro.....	50
<b>Figura 42-2</b> Visualización de la Posición del Registro .....	50
<b>Figura 43-2</b> Valor leído del registro.....	51
<b>Figura 44-2</b> Visualización del valor leído del registro.....	51
<b>Figura 45-2</b> Valor del registro leído.....	51
<b>Figura 46-2</b> Visualización del valor del registro leído.....	52
<b>Figura 47-2</b> String que se guarda en Excel .....	52
<b>Figura 48-2</b> Visualización del string que se guarda en Excel .....	52
<b>Figura 49-2</b> Habilitación de lectura .....	53
<b>Figura 50-2</b> Visualización de la habilitación de lectura.....	53
<b>Figura 51-2</b> Visualización del programa de adquisición de datos .....	53
<b>Figura 52-2</b> Registro en Excel .....	56
<b>Figura 53-2</b> Codificación de datos.....	57
<b>Figura 54-2</b> Datos en cambio de escala .....	57
<b>Figura 55-2</b> Ingreso de variable en Matlab .....	58
<b>Figura 56-2</b> Creación de la red neuronal.....	59
<b>Figura 57-2</b> Tipo de red neuronal .....	59

<b>Figura 58-2</b> Selección de la carpeta de los datos guardados .....	60
<b>Figura 59-2</b> Selección de la carpeta de los datos guardados .....	60
<b>Figura 60-2</b> Porcentajes de entrenamiento, validación y test.....	61
<b>Figura 61-2</b> Selección de las capas ocultas .....	62
<b>Figura 62-2</b> Entrenamiento de la Red Neuronal .....	63
<b>Figura 63-2</b> Conformación de la red neuronal .....	63
<b>Figura 64-2</b> Cambio de función de transferencia .....	64
<b>Figura 1-3</b> Conformación de la red neuronal logsig .....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3</b> Entrenamiento de la red neuronal .....	66
<b>Gráfico 2-3</b> Entrenamiento de la red neuronal .....	67
<b>Gráfico 3-3</b> Histograma de errores.....	67
<b>Gráfico 4-3</b> Análisis de regresión.....	68
<b>Gráfico 5-3</b> Datos Reales y Predicción .....	69
<b>Gráfico 6-3</b> Datos Reales y Predicción de los días lunes .....	70
<b>Gráfico 7-3</b> Datos Reales y Predicción de los días martes .....	70
<b>Gráfico 8-3</b> Datos Reales y Predicción de los días miércoles .....	71
<b>Gráfico 9-3</b> Datos Reales y Predicción de los días jueves .....	71
<b>Gráfico 10-3</b> Datos Reales y Predicción de los días viernes .....	72
<b>Gráfico 11-3</b> Datos Reales y Predicción del día lunes .....	72
<b>Gráfico 12-3</b> Datos Reales y Predicción del día martes .....	73
<b>Gráfico 13-3</b> Datos Reales y Predicción del día miércoles .....	73
<b>Gráfico 14-3</b> Datos Reales y Predicción del día jueves .....	74
<b>Gráfico 15-3</b> Datos Reales y Predicción del día viernes .....	74
<b>Gráfico 16-3</b> Porcentajes por consumo .....	75

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO A. DATASHEET CONVERTER RS 232/RS 485

ANEXO B. DATASHEET SIEMENS SENTRON PAC3100

ANEXO C. DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO ELÉCTRICO TRIFÁSICO

ANEXO D. DIAGRAMA DE BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

ANEXO E. REGISTRO DE DATOS EN EXCEL

ANEXO F. PROGRAMA DE LA CREACIÓN DE LA RED NEURONAL

ANEXO G. PROGRAMA DE RESULTADOS

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación consistió en la aplicación de la Inteligencia Artificial aplicando al monitoreo del sistema eléctrico trifásico del laboratorio de máquinas eléctricas de la Facultad de Informática y Electrónica de la escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales. Con este trabajo el usuario pudo determinar la demanda instantánea y una predicción de demanda futura. Se utilizó el método inductivo para recolectar información de los datos de cada una de las líneas del sistema trifásico, la programación y diseño para la adquisición de los datos y el método experimental para el desarrollo de programas de pruebas y corrección de errores en el funcionamiento de la predicción de la demanda del laboratorio. Este sistema de monitoreo consta de un dispositivo siemens sentron PAC3100 en el cual se pueden leer los datos que se obtienen en tiempo real de cada una de las líneas, estos datos se almacenan en una hoja de Excel, previamente se hizo un programa en labVIEW para obtener el almacenamiento de los datos, se configuró en el programa la comunicación modbus RS 485 para tener acceso a los datos leídos. Con los datos obtenidos del sistema trifásico, se procedió a determinar el tipo de inteligencia artificial que se aplicaría para su debida programación en Matlab, en este trabajo se aplicó una red neuronal donde también se definió tipo y forma de entrenamiento de la red neuronal, en el programa se determinaron las variables de entrada y salidas. En los resultados del entrenamiento de la red neuronal en Matlab se determinó mediante gráficas la posible predicción de la demanda de consumo energético que puede tener el laboratorio cuando esté con una hora clases, prácticas y examen. Se recomienda tener precaución para la determinación de las variables de entrada para la red neuronal y así poder ingresar los datos correctamente a los programas a utilizar.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ROBÓTICA>, <INTELIGENCIA ARTIFICIAL>, <RED NEURONAL>, <MONITOREO>, <COMUNICACIÓN>, <DATOS>, <SISTEMA TRIFASICO>.



## SUMMARY

The present investigation is an artificial intelligence application to monitor a three-phase electric system of electric-machine laboratory at the Faculty of Computer Science and Electronics of the School of Industrial Networking and Control Engineering. With this work the user was able to determine the instantaneous demand and a future forecasting prediction. The inductive method was used to gather information from each of the three-phase system transmission lines, the programming and the design, whereas the experimental method was used to develop the test programs and error correction of the laboratory demand forecasting running. This monitoring system has a Siemens Sentron PAC3100 device-data stored in Excel and obtained in real time from each of the transmission lines can be read. Besides, a LabVIEW program was done previously to store data. Modbus RS 485 communication program was set up to have access data. Of the data gotten from the three-phase system, the type of artificial intelligence to be applied in the MATLAB program was determined. In this work, a neuronal network was applied and the type and the way of neuronal network training were defined. In the program the input and output variables were determined. In the neuronal network training results in Matlab, the probable forecasting of the energetic consumption demand the laboratory may have during classes, practices and exams, was determined using graphics display. We recommend to observe precautions determining the input variables for the neuronal network so that data can be entered data correctly in the programs to be used.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <ROBOTICS>, <ARTIFICIAL INTELLIGENCE>, <NEURONAL NETWORK>, <MONITORING>, <COMMUNICATION>, <DATA>, <THREE-PHASE SYSTEM>.

## **INTRODUCCIÓN**

### **ANTECEDENTES**

Actualmente los sistemas eléctricos operan cada vez más cercanos a sus límites de estabilidad, esto quiere decir, que se producen cortes de energía que generan importantes pérdidas en la economía de cualquier país del mundo.

Sostiene que la sociedad actual requiere grandes cantidades de energía para la industria, el comercio, la agricultura, el transporte, las comunicaciones, el uso residencial, etcétera. En este escenario las fuentes de energía no renovables son el principal combustible que se utiliza en la generación de electricidad. En el futuro, el uso de las fuentes de energías renovables jugará un rol dominante en la generación de electricidad.

El incremento en la integración de estas energías, sumado a los desarrollos tecnológicos en transmisión, generación y distribución. La necesidad de tener sistemas de transmisión limpios, eficientes, confiables, tolerantes a disturbios y sensibles, ha propiciado el nacimiento de las llamadas “redes inteligentes”.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo influye Inteligencia Artificial en el monitoreo de datos de red eléctrica del laboratorio de máquinas de la facultad de informática y electrónica?

### **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué métodos teóricos y técnicos se utilizan en el monitoreo y predicción de la red eléctrica?

¿Qué tipos de elementos se utilizarán en el monitoreo y predicción de datos?

¿Qué beneficios se obtendrán en el laboratorio de máquinas eléctrica con el monitoreo y predicción de datos de red eléctrica?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El interés creciente por la red eléctrica inteligente y la naturaleza multidisciplinar de la misma están motivando que surjan soluciones a los problemas inherentes que conlleva desde distintos campos del conocimiento. La complejidad y heterogeneidad de estas redes y el gran volumen de información que se debe procesar hacen que las técnicas basadas en inteligencia artificial e inteligencia computacional puedan considerarse habilitadoras para su adecuado desarrollo e implantaciones futuras.

Siguiendo el camino de la energía eléctrica desde su generación hasta el consumo por el usuario final, se evidencian importantes inconvenientes en el control y monitoreo de la red, puesto que actualmente se hace un plan de mantenimiento de la infraestructura totalmente manual. En este modelo de manutención se cuenta con un vigía asignado a una zona determinada en la cual se debe examinar la red, identificar las posibles fallas y planear una corrección futura. Se considera necesario revisar el estado del arte actual en las técnicas de inteligencia artificial propuestas para abordar los diferentes aspectos relacionados con el desarrollo del nuevo modelo de red eléctrica; por tanto, este trabajo está orientado a repasar los retos más importantes en el diseño de esta "nueva" red eléctrica y cómo los sistemas inteligentes pueden contribuir a enfrentarlos con éxito

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

La evolución tecnológica nos ha brindado las herramientas necesarias para solucionar los problemas de la industria de forma segura, económica y eficiente. Se propone la implementación de la Inteligencia Artificial como una perspectiva moderna que permita proporcionar soluciones a las dificultades que afronta la red eléctrica, desde la generación y el transporte hasta el consumo de energía.

En el acercamiento que proponemos al estudio de las redes eléctricas inteligentes se utilizarán sentencias y conjuntos lógicos que ejecutan el análisis e interpretación de los datos recolectados del medio externo y modelos matemáticos que son el traductor ideal entre el lenguaje del hombre y la maquina; estos modelos posibilitan hacer las correcciones adecuadas a un agente inteligente que es capaz de aprenderlas y usarlas a futuro de forma autónoma. Con la ayuda de métodos de inteligencia artificial aplicados a redes eléctricas.

Con la implementación de la red eléctrica inteligente, se consideran algunos de los objetivos concretos que este nuevo modelo podrá satisfacer: Proporcionar una respuesta rápida a las condiciones cambiantes de la red eléctrica, predecir el comportamiento de la red eléctrica, manejando una base de datos en tiempo real para conocer el comportamiento de la red eléctrica en el momento de su máxima consumo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el monitoreo y predicción de datos mediante inteligencia artificial de red la Eléctrica del Laboratorio de máquinas de la Facultad de Informática y Electrónica.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar los diversos aspectos tanto teóricos como prácticos que implica la predicción de datos en la red eléctrica.
- Monitorear la red eléctrica para observar los cambios de energía a través del tiempo.
- Ejecutar programa basado en inteligencia artificial técnicamente probado y que puedan ser soporte técnico en la red eléctrica.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Inteligencia artificial en el monitoreo eléctrico

Desde hace siglos atrás, el hombre ha tratado de dilucidar a partir del pensamiento abstracto la forma en que funciona el cerebro humano, con el objetivo de encontrar soluciones prácticas a problemas cotidianos de la humanidad. Pensadores como: Aristóteles, Lull, y Hobbes, centraron esfuerzos, cada uno en su línea de tiempo, en interpretar el sistema de razonamiento humano, desarrollando silogismos (silogismo socrático) y comparaciones del razonamiento con procesos numéricos. Posteriormente, fueron otros pensadores y científicos, quienes desarrollaron concepciones que interpretaban el desarrollo del pensamiento, bajo un enfoque lógico, empírico, y científico que conllevó a la aparición de los primeros diseños y construcciones de máquinas con método científico.

La aparición de la primera computadora, y el avance tecnológico computarizado acaecido a partir de la mitad del siglo pasado hasta la actualidad, ha traído consigo el desarrollo de una industria, fundamentada en la inteligencia artificial y producción de nuevos productos innovadores, que faciliten ciertas actividades de las personas: televisores inteligentes, celulares inteligentes, sistemas de navegación automáticos, entre otros, son algunas de los tantos artefactos creados.

### 1.2 Técnicas de la Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial se compone principalmente de tres ramas: a) Lógica difusa, b) algoritmos genéticos y, c) redes neurales artificiales. En el caso de la presente tesis, aborda la última técnica, en razón a la consecución de sus objetivos (Ponce Cruz, 2010, p. 104).

#### 1.2.1 *Redes Neuronales Artificiales - RNA*

Son varias las propuestas entorno a la definición de redes neurales artificiales – RNA; sin embargo, es posible observar como factor común entre algunas de ellas, fundamentaciones básicas centradas en la funcionalidad e importancia de las neuronas del sistema nervioso humano para el procesamiento de información. Entre ellas cabe citar, las que consideran las RNA como:

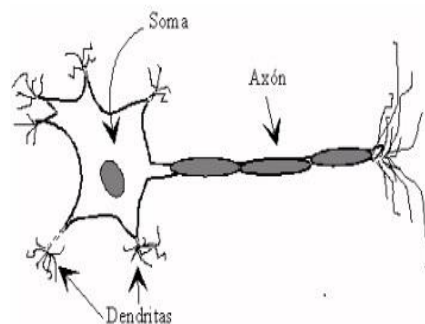
a) Un “sistema de procesamiento de información compuesto por un gran número de elementos (neuronas), profusamente conectados entre si a través de canales de comunicación” (Reguero, 1995; citado en La aplicación de las Redes Neuronales Artificiales (RNA).

b) Un “modelo matemático de procesamiento de información basado el comportamiento biológico de las neuronas y en la estructura del cerebro” (Tablada y Torres, 2009, p.22).

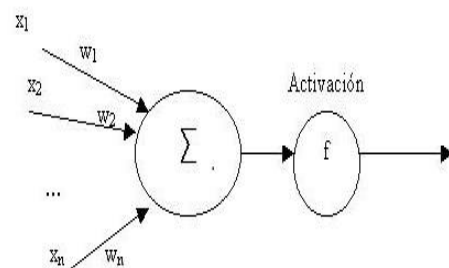
c) Los sistemas de mapeos no alineados con una estructura basada en los principios de los sistemas nerviosos de los humanos y de animales, designando finalmente a las neuronas como las unidades de pensamiento de procesamiento (Ponce Cruz, 2010, p.198).

El eje central de las definiciones antepuestas, es la comprensión y emulación del proceso fisiológico básico de las neuronas biológicas en el sistema nervioso para su reproducción artificial, a través de las neuronas artificiales. Es por ello que, para hablar de neuronas artificiales, es necesario comprender el funcionamiento de sus homónimas biológicas, en razón de la sustentación de las definiciones elaboradas con un enfoque funcional básico del sistema nervioso.

La neurona biológica es la célula principal del sistema nervioso, considerada como su unidad funcional, con una estructura conformada por: un soma que contiene el núcleo que se encarga de las actividades metabólicas y recibe la información de otras neuronas a través de las conexiones sinápticas; dendritas conocidas como las conexiones de entrada de la neurona y el axón (también conocido como cilindro) la salida, este último envía señales a otras neuronas, es decir, cada neurona tiene la capacidad de responder a estímulos a través de impulsos que trasmite hacia otras neuronas, por medio de una red sináptica (unión de neuronas sin contacto físico).



**Neurona Biológica**



**Neurona Artificial**

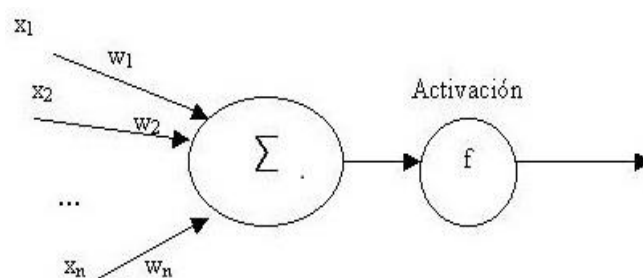
**Figura 1-1** Similitudes funcionales de la neurona biológica y la neurona artificial

Fuente: <http://avellano.usal.es/~lalonso/RNA/> y <http://www.alergoaragon.org/2001/primera3.html>

Otro enfoque para su definición, se centra en su funcionalidad de las RNA como red, que la definen como “sistemas compuestos por estructuras de red con un gran número de conexiones entre diferentes capas de procesadores, los cuales a su vez tienen asignadas diferentes funciones, dentro de dichos procesadores se efectúa una labor de aprendizaje por la reproducción de las salidas de un conjunto de señales de entrenamiento.” (Vázquez, 2009, p. 14).

*1.2.1.1 Modelo básico neuronal artificial*

Cómo se mencionó en líneas anteriores la neurona artificial es la unidad de procesamiento básico de las redes neurales artificiales que posee un cuerpo proporcionado de un peso sináptico con entradas y salidas; sin embargo, su funcionalidad en red depende de otros factores: la regla de propagación, funciones de activación o de transferencia y la función de salida.



**Figura 2-1** Neurona Artificial

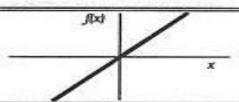
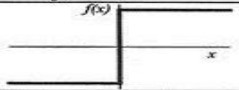
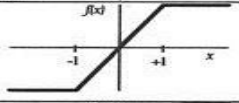
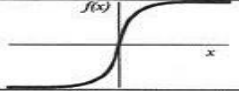
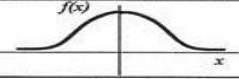

Fuente: <http://www.alergoaragon.org/2001/primera3.html>

a) Las entradas y salidas, generalmente tres son los tipos de neuronas artificiales: las neuronas de entrada que reciben información del exterior; las neuronas ocultas que reciben información de otras neuronas y en cuya sinapsis se representa la información almacenada, y las neuronas de salida que reciben la información de las neuronas ocultas para emitirlas al exterior. Las entradas y salidas de las neuronas artificiales pueden ser “binarias” también conocidas como digitales, caracterizadas por admitir dos valores posibles en los alfabetos (0, 1) o (-1, 1); y “continuas” conocidas como analógicas que admiten valores dentro de un rango determinado de (-1, 1).

b) El peso sináptico, define la intensidad de la conexión sináptica entre las neuronas pre sináptica y post sináptica, con valores de cero, cuando no existe comunicación entre las neuronas; positivos, cuando existe una comunicación excitadora; y negativos, cuando existe una comunicación inhibitoria.

c) La regla de propagación, proporciona el valor del potencial post sináptico de la neurona post sináptica en función de sus pesos y entradas. Para “determina la entrada efectiva de una unidad a partir de las entradas externas” (Ponce Cruz, 2010, p.199).

d) La función de activación, determina el estado de activación actual de la neurona en base al potencial resultante y el estado de activación anterior de las neuronas. Las funciones de activación más utilizadas son: la función de identidad, la función escalón, lineal y mixta, la función tangente hiperbólica, la función Sigmoidal, y la función de Gauss, las cuales se sintetizan a continuación:

	<b>Función</b>	<b>Rango</b>	<b>Gráfica</b>
<b>Identidad</b>	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
<b>Escalón</b>	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
<b>Lineal a tramos</b>	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
<b>Sigmoidea</b>	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
<b>Gaussiana</b>	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
<b>Sinusoidal</b>	$y = A \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

**Figura 3-1** Funciones de las redes neurales

Fuente: <http://grupo.us.es/gtocoma/pid/pid10/RedesNeuronales.htm>

e) La función de salida, proporciona la salida de la neurona post sináptica, en base al estado de activación neuronal actual.

### 1.2.1.2 Ventajas de las Redes Neuronales Artificiales

La construcción de redes neuronales artificiales presenta ventajas singulares. Hilera (1995) determinó como los principios principales para su construcción: el aprendizaje adaptivo, la auto organización, la tolerancia a fallos, la operación en tiempo real y la fácil inserción (Tablada y Torres, 2009, p.148).

a) En el aprendizaje adaptivo, la dinámica de la capacidad adaptiva y de autoaprendizaje de las RNA mediante entrenamientos, limitala la elaboración de modelos y especificaciones de funciones probabilísticos. Además, les posibilita autorealizar su propia distribución de pesos en los enlaces, sin requerir de la creación de algoritmos para la resolución de problemas.



b) La auto organización, se da a través de la reorganización de información recibida en el proceso de aprendizaje, para crear representaciones características que posibilitan la identificación de patrones, provocando generalizaciones.

La generalización “es la habilidad de una red neuronal de almacenar en sus pesos sinápticos características que le son comunes a todos los patrones de entrenamiento que fueron usados durante su fase de entrenamiento” (Colmenares, sf, p.79).

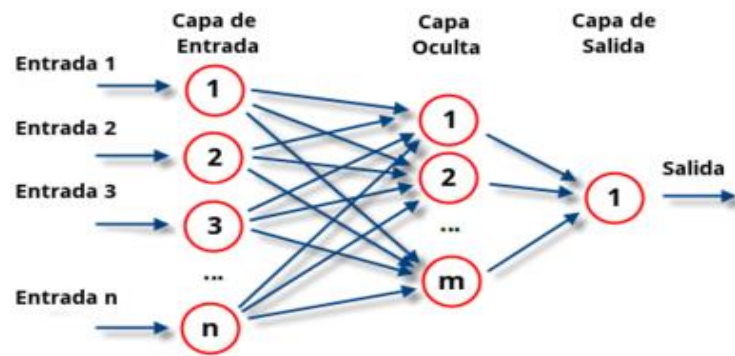
c) La tolerancia a fallos, se da en razón de que pueden reconocer patrones con fallas de distorsión, ruido e incompletos, y que a pesar de que una parte de la red sufra daños, pueden realizar su función con un grado de degradación.

d) La operación en tiempo real se da en razón de que los cálculos pueden ser realizados en paralelo, para ello la necesidad de cambio de pesos de las conexiones es mínima.

e) La fácil inserción, esta determinada en la implementación de las RNA en nuevas tecnologías mediante la asignación de tareas específicas definidas con la utilización de hardware diseñados para ello.

### *1.2.1.3 Elementos de una Red Neural Artificial*

Las redes neurales artificiales están conformadas básicamente por unidades de procesamiento (conocidas como neuronas artificiales) agrupadas en estructuras en forma de capas: una capa de entrada conformada por neuronas que receptan información externa de la red; una capa oculta conformada por neuronas que intercambian información con otras neuronas sin contacto externo; y una capa de salida, conformada por neuronas que transmiten información al exterior; con comunicación entre sí por medio de las conexiones intracapa (conexiones dentro de una misma capa) o conexiones intercapa (conexiones entre capas) provistas de estados de activación, funciones de activación, una regla de aprendizaje y un medio ambiente de operación. (Ponce Cruz, 2010, p.198-199). La Figura 4-1, muestra el diseño básico de una red neuronal artificial:



**Figura 4-1** Modelo de red neuronal artificial  
Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_neuronal\\_artificial](https://es.wikipedia.org/wiki/Red_neuronal_artificial)

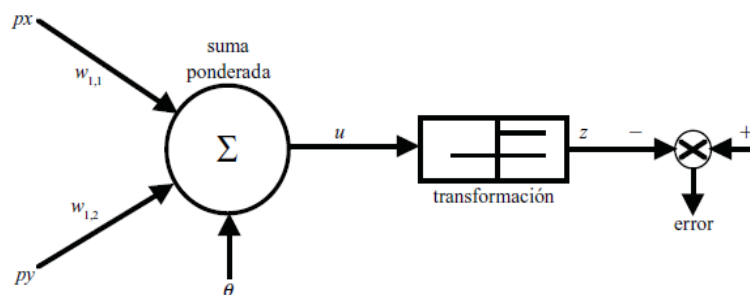
#### 1.2.1.4 Tipos de redes neuronales

Revisada la literatura disponible, es difícil determinar una clasificación estandarizada de las redes neuronales artificiales, en razón a las diversas clasificaciones desarrolladas entorno a su algoritmo de aprendizaje o la topología conectiva, entiéndase por topología a la arquitectura o diseño en la que las neuronas se enlazan para conformar la RNA. Entre los tipos básicos de RNA, se encuentran:

a) El modelo monocapa, que consta de una capa de neuronas que proyectan las entradas a otra capa de neuronas de salida. Este tipo de modelo “presentan las entradas directamente conectadas a las salidas mediante pesos” (Ponce Cruz 2010, p.204). Entre algunos de los modelos monocapa la presente tesis cita:

- El Percepción es una de las primeras redes neuronales artificiales en ser utilizadas, a partir de este tipo de red se crearon redes básicas de una capa y varias capas (multicapas), por lo cual destaca su capacidad de admisión de capas adicionales con la limitación de que tan solo una de las capas tiene la capacidad de modificar los pesos sinápticos. Este tipo de red se caracteriza por utilizar en su arquitectura neuronal el llamado “mapeo de patrones” en la clasificación de modelos binarios (0,1) por medio de un modelo de aprendizaje supervisado de funciones binarias linealmente separables.

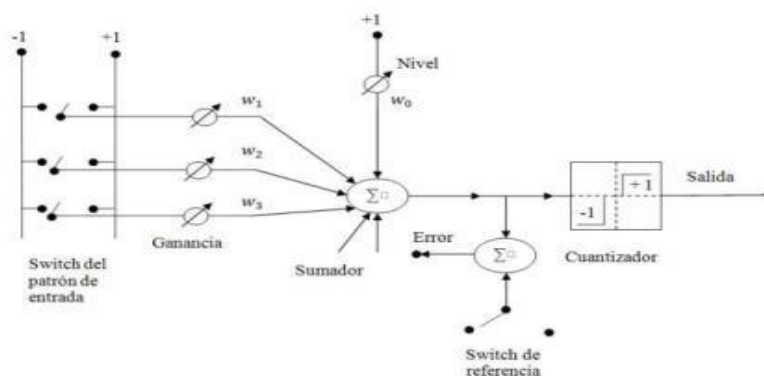
“En el caso del percepción de una capa estas pueden clasificar correctamente los conjuntos de datos que son linealmente separables” (Ponce Cruz, 2010, p.204). La figura 5-1 muestra el modelo básico de funcionamiento del percepción propuesto por Mc Culloch – Pitts



**Figura 5-1** Modelo de Percepción clásica

**Fuente:** Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería, p.205

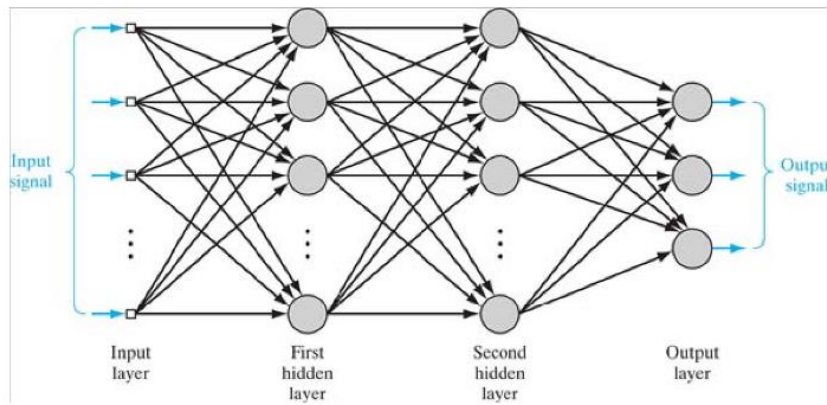
- La red modelo Adaptive Linear Neuron o Adaline realiza una suma lineal (función de activación lineal) de entradas por medio de la utilización de un dispositivo lógico generando una función umbral para el resultado de dicha suma. Entre las principales aplicaciones que se les da se encuentran: procesamiento de señales, sistemas de predicción, y canceladores de ecos en las señales telefónicas. La figura 6-1 muestra el modelo de red Adaline:



**Figura 6-1** Modelo Adaline

**Fuente:** <https://advancedtech.wordpress.com/2007/08/31/topologias-de-redes-neuronales/>

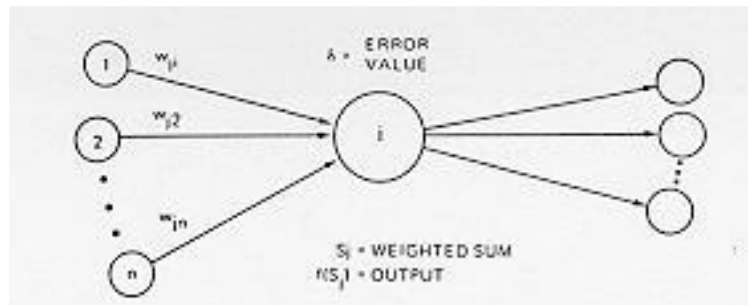
- b) El modelo multicapa, puede estar conectada parcialmente o totalmente, está formada por un grupo de capas simples a manera de cascada, donde la salida de una capa es el ingreso de la siguiente. Considera principalmente dentro de este modelo dos tipos: el Percepción multicapa y las redes de retropropagación (Ponce Cruz 2011, p.225).
- En el caso del Percepción multicapa su funcionamiento se explica en la clasificación de modelos binarios por medio de un modelo de aprendizaje supervisado de funciones binarias linealmente separables (explicado en las generalizaciones del Percepción en líneas anteriores) a continuación se muestra la arquitectura de una red de Percepción multicapa:



**Figura 7-1** Perceptrón Multicapa

Fuente: <http://infofich.unl.edu.ar/upload/79b5838d8699a4dccece899b6e8b6a3a7bd4182e.pdf>

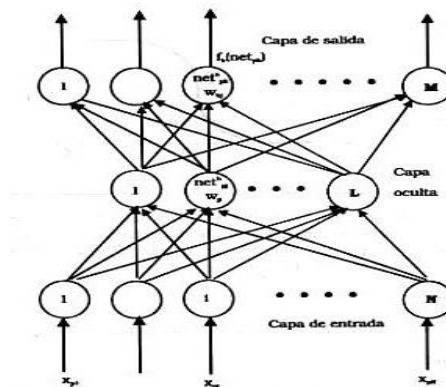
- Las redes de Retropropagación o también conocidas en inglés como Backpropagation, se caracteriza por “presentar su unidad procesadora que realiza una sumatoria de las entradas ponderadas llamada  $S_j$ , presentar una salida  $a_j$  y tener un valor  $\delta_j$  asociado que se utilizará en el proceso de ajuste de los pesos” (Olabe, p.29). La unidad básica se representada en la figura 8-1 mostrada a continuación:



**Figura 8-1** Unidad básica de backpropagation

Fuente: Curso: Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones, p.29

La figura 9-1 grafica la arquitectura interconectada de la Red backpropagation:



**Figura 9-1** Red de backpropagation

Fuente: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd98/TecInfo/07>

Entre los principales campos de aplicación de este tipo de redes están: codificación de información, traducción de texto y reconocimiento en el lenguaje hablado, reconocimiento óptico de caracteres, aplicaciones en cardiología, y la descomprensión y comprensión de datos.

#### *1.2.1.5 Aprendizaje de las Redes Neuronales Artificiales*

Se entiende por aprendizaje al proceso de configuración de una red neuronal para que las entradas produzcan salidas esperadas a través del fortalecimiento de sus conexiones (Ponce Cruz, 2010, p.203).

Los procedimientos de aprendizaje pueden ser generalmente: supervisados y no supervisados; sin embargo, el avance en su utilización ha generado nuevas formas que denotan la aparición de otros tipos, que incluyen al aprendizaje por esfuerzo (Viñueta y Galván, 2004; p.176) u en otros casos sub tipos de aprendizaje dentro de los mencionados; por lo cual, el presente apartado menciona algunos de los tipos de aprendizajes básicos y de reciente aparición:

a) El entrenamiento supervisado, se da mediante el proceso de emparejamiento de vectores de entrada con vectores de salida, con el objeto de calcular la salida de la red con relación a una salida deseada, cuya diferencia alimentará la red y cambiará los pesos conforme a un algoritmo para minimizar errores. Este tipo de entrenamiento genera un conjunto de sub aprendizajes, siendo estos: por corrección de error, por refuerzos y estocástico.

b) En el entrenamiento no supervisado, solo se requiere el tipo de vector de ingreso y no de salida, el algoritmo de entrenamiento ingresado ejecutará una modificación de pesos generando vectores de salida; este “entrenamiento se enfoca a encontrar características educativas entre agrupamiento de patrones de entrada” (Ponce Cruz 2010, p.203). Este tipo de aprendizaje considera principalmente dos tipos de aprendizaje: hebbiano y competitivo – comparativo.

c) El aprendizaje Híbrido, refiere la utilización refiere del aprendizaje supervisado y el no supervisado en conjunto.

d) El aprendizaje reforzado, se ubica entre el aprendizaje supervisado y el no supervisado, aquí la red es provista de patrones de ingreso y se le indica si la salida es la correcta o no, sin proporcionar información de la salida indicada.

### *1.2.1.6 Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales*

En el mundo moderno las aplicabilidades de las redes neuronales artificiales se ciñen a casi todas las actividades que involucran la ejecución de acciones inteligentes en actividades cotidianas y/o complejas que utilizan herramientas tecnológicas en áreas de: procesamiento y análisis de señales, reconocimiento de imágenes, control de procesos, filtrado de ruidos, robótica, procesado de lenguaje, diagnósticos médicos, telecomunicaciones, seguridad, reconocimiento de voz, electrónica, finanzas, bancos, manufactura, automóviles, etc.

## **1.3 REDES ELÉCTRICAS**

Los primeros hallazgos de generación de energía eléctrica aparecen en el siglo VI a.c. en la antigua Grecia, hace más de 2000 años cuando Tales de Mileto al frotar un pedazo de ámbar con un trozo de tela observó que pequeños objetos se atraían hacia ella e incluso, se generaban esporádicas chispas, descubriendo lo que hoy se conoce como electricidad estática.

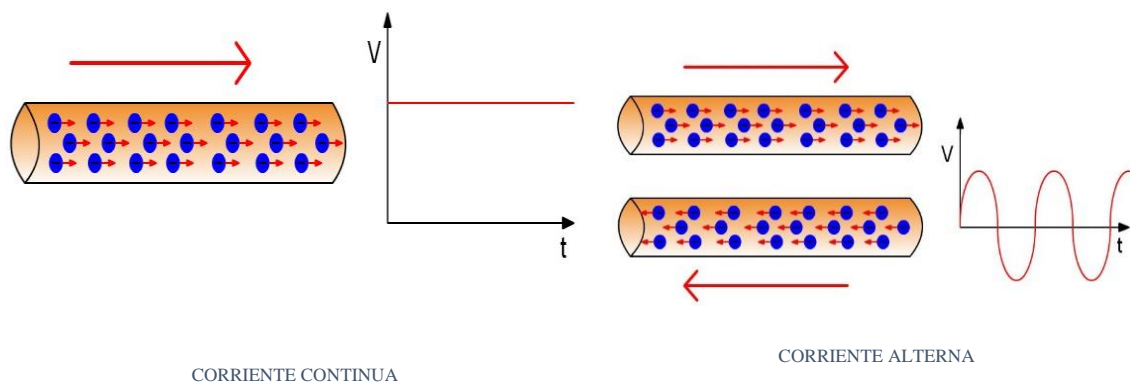
Siglos más tarde, Benjamín Franklin tras ejecutar un experimento con el vuelo de una cometa de estructura metálica, colgando de ella una llave, durante un día lluvioso descubrió que la misma cargaba de energía por consecuencia de los rayos, construyendo bajo ese resultado el primer pararrayos. A pesar de ello, los avances de generación tecnológica de la electricidad, datan en el siglo XIX con la invención de la batería eléctrica por medios químicos de parte de Alexandro Volta, primer recurso artificial de generación eléctrica con limitaciones de durabilidad y cobertura; la aparición del primer dínamo industrial movido por una máquina a vapor y que generó energía de manera continua y permanente; las implementaciones de los primeros alumbrados públicos: el primero con energía eléctrica continua, diseñado por Thomas Edison con la utilización de generadores de corriente continua; y el segundo con energía alterna, realizado por G. Westinghouse con la utilización de máquinas, el descubrimiento de la inducción electromagnética, utilizada como principio del motor y generador eléctrico y la utilización del primer telégrafo eléctrico de la mano de Samuel Morse.

A partir de los descubrimientos tecnológicos de generación de energía eléctrica, esta se ha convertido en una de las principales fuentes de energía utilizada en el mundo moderno de manera cotidiana, ya sea por: el uso de luces artificiales, electrodomésticos, instrumentos médicos, medios de transporte, herramientas de trabajo, computadores, celulares etc., instrumentos y herramientas de uso común que basan en ella su energización; razón por la cual, ha sido considerado como un servicio básico e incluso como un indicador para la medición de pobreza y de desarrollo.

La provisión, entrega con mayor cobertura y la calidad del servicio eléctrico, es de pertinencia y preocupación de los gobiernos nacionales. En el caso del estado ecuatoriano, uno de los sectores estratégicos es la energía, por lo cual, en el articulado constitucional 314 menciona: “el estado será responsable de la provisión de los servicios públicos energía eléctrica y demás que determine la ley” (Constitución del Ecuador, 2008). De ahí la importancia en la generación e implementación de proyectos relacionados al sector eléctrico.

La electricidad es la “fuerza que se manifiesta por la atracción o repulsión entre partículas cargadas, originada por la existencia de electrones y protones” (RAE, s.f., recuperado el 1 de septiembre del 2016 de <http://dle.rae.es/?id=ETfiNgkla>). SE define como un “fenómeno físico-químico natural, relacionado con la estructura molecular de un cuerpo, y se manifiesta a través de un flujo de electrones” (Huitzil 2010, p.9).

La generación de energía eléctrica se da cuando un conductor eléctrico se mueve sobre un imán se genera una tensión eléctrica o voltaje sobre entre los extremos del conductor, si se conectan varios conductores en serie (bobina) las tensiones generadas se suman, al cerrarse el circuito con una carga se produce una corriente eléctrica. Se distinguen dos clases de energía eléctrica: continua y alterna. La corriente continua, siempre tiene la misma polaridad y la corriente alterna, la polaridad cambia cíclicamente. (Rela, 2011, p.14).



**Figura 10-1** Corriente continua y corriente alterna

Fuente: [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_magnetismo\\_3/magnetismo\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_magnetismo_3/magnetismo_indice.html)

La generación de energía eléctrica, puede darse por diferentes medios: a) medios fósiles a través del petróleo, gas natural, carbón, etc., b) energía atómica generada en las centrales de energía nuclear y de c) fuentes de energía renovable a través del agua, del sol, del viento, etc.

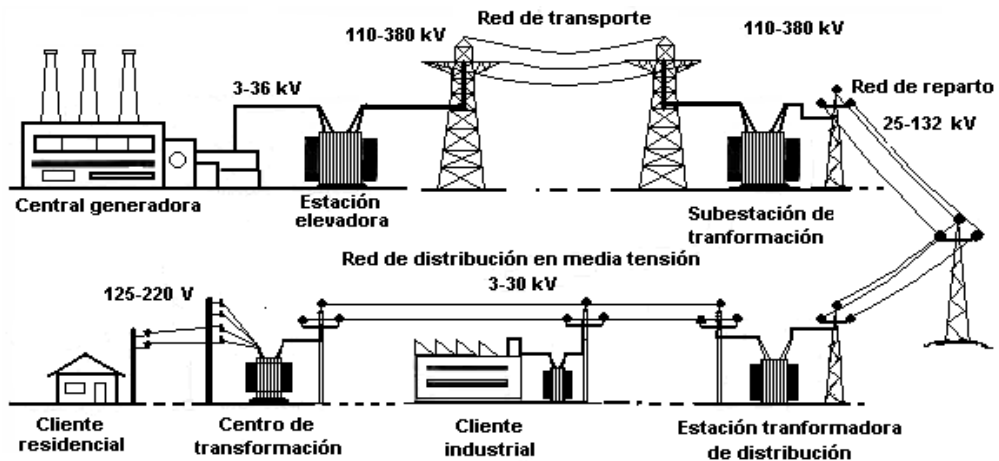
### ***1.3.1 Redes de Energía de Alta Tensión***

Tras la implementación de los sistemas de alumbrado de energía eléctrica en las ciudades de Nueva York y Great Barnintong, y por consiguiente la utilización de los sistemas de energía alterna sobre los de corriente continua por su factibilidad y seguridad en el transporte y transformación a partir de 1949, fue necesario el diseño y la implementación de redes de energía de alta tensión con la finalidad de ampliar la cobertura y asegurar la distribución de la electricidad.

Según el Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica y de control de la Universidad Nacional de educación a distancia: El transporte se hace en alta tensión (400, 220, 132 KV) para disminuir pérdidas. La red de alta tensión es una red geográficamente extensa y mallada; en los nudos de esa malla, donde las líneas se interconectan se encuentran las subestaciones en las que están los transformadores, para cambiar los niveles de tensión de las líneas, los elementos de mando y protección, que sirven para proteger la red y los elementos de medida, que permiten conocer en todo momento la situación del sistema y valores de las variables más importantes. De algunas de esas subestaciones salen líneas a menor tensión que forman las redes de distribución en media tensión (66 Va 1KV) que finalmente, y conforme llegan hasta últimos consumidores, se transforman en otras redes de baja tensión (400 y 230 V) (DIECC-UNEC, 2011, p.10).

Es decir, los sistemas eléctricos de alta tensión “comprenden la generación de energía eléctrica en las centrales, el transporte y la distribución de esta energía mediante líneas eléctricas” (Pérez, 2013, p.1); es decir, contienen los tres elementos fundamentales de la estructura de las redes eléctricas expuestos por conformada por: centrales generadoras, líneas transmisión y redes de distribución (Stevenson, 1979, p.1). La figura 11-1 grafica el esquema básico de la estructura de una red de suministro eléctrico:





**Figura 11-1** Esquema del suministro de Red eléctrica  
Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_suministro\\_el%C3%A9ctric](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctric)

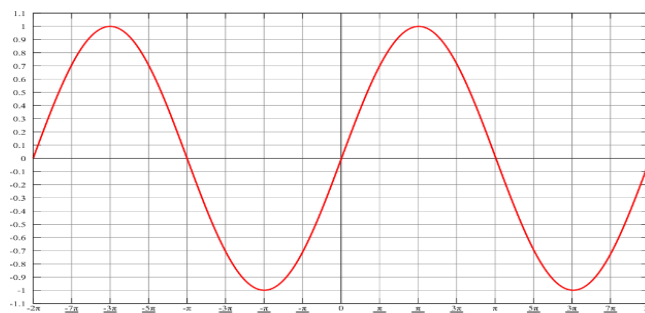
#### 1.4 SISTEMA MONOFÁSICO Y TRIFÁSICO

El proceso de generación de energía eléctrica en las centrales de energía y su consiguiente transporte y distribución a través de sus redes homónimas hacia los consumidores también conocidos como cargas, estima el tipo de sistema de distribución a implementarse en los puntos de consumo.

Una carga desde el enfoque de análisis de los sistemas eléctricos es cualquier dispositivo que consume energía eléctrica, por consiguiente, se consideran electrodomésticos, herramientas u otro tipo de equipo que requiera de electricidad.

La instalación de un sistema eléctrico para los consumidores o cargas, está determinado por el nivel de consumo y potencia requerida por las cargas, pudiendo instalarse en redes de baja tensión por medio de: un sistema monofásico o un sistema trifásico.

El sistema monofásico es implementado regularmente a nivel doméstico, por la baja demanda de energía eléctrica en las viviendas y está conformado únicamente por corriente alterna o fase.



### **Figura 12-1** Tensión de sistema monofásico

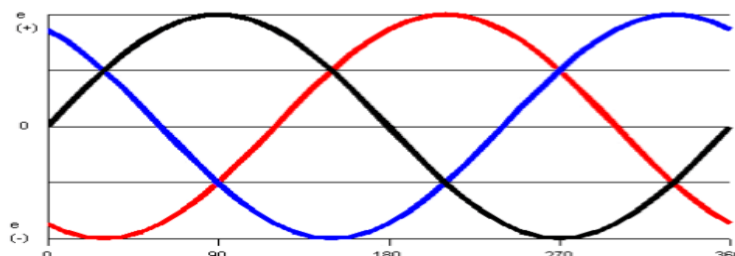
fuente: recuperado de <http://kagidios.blogspot.com/>

El sistema trifásico, se implementa en puntos de consumo de mayor demanda donde se requiere mayor constancia y potencia de energía eléctrica, y está conformado por tres corrientes alternas monofásicas.

#### **1.4.1 Sistema Trifásico**

El sistema trifásico por sus cualidades de potencia, es implementado con fines comerciales e industriales, es así, que se refiere al sistema como: “fuente de tensión alterna usada en la generación de energía eléctrica a escala comercial casi invariablemente consiste en “un grupo de tensiones que tienen ángulos de fase y magnitudes relacionadas entre sí” (Ferro 2016, p.3).

El sistema trifásico equilibrado es el conjunto de tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud que se presentan con una cierta diferencia de fase entre ellas ( $120^\circ$ ) y están dadas en un orden determinado. Para que un sistema trifásico sea equilibrado debe cumplir las siguientes condiciones: 1) las tres fuerzas electromotrices que se generan tienen que ser iguales en valor eficaz y en frecuencia; y 2) los desfases de las fuerzas electromotrices tienen que ser iguales.



**Figura 13-1** Tensiones de un sistema trifásico

Fuente: <http://www.profetolocka.com.ar/2016/09/20/introduccion-a-los-sistemas-trifasicos/>

Entre sus ventajas se encuentran: permiten generar un campo magnético giratorio, la potencia eléctrica generada o transportada es constante, permiten el empleo de dos tensiones con una sola línea y transportan el triple de potencia que un sistema monofásico.

## **1.5 SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO**

Para la RAE (Real Academia Española) un monitor es un “aparato electrónico que, a través de señales visuales o acústicas, permite hacer el seguimiento de un proceso o un fenómeno” (<http://dle.rae.es/?id=PecCzoV>).

Un sistema de monitoreo de energía brinda información del comportamiento actual de la red eléctrica a través del monitoreo de: voltaje, corriente, consumo, factor de potencia, potencia real, potencia reactiva, potencia aparente, distorsión total de armónicas; con el objetivo de reconocer y evitar fallar que ocasionen daños o pérdidas del suministro de energía eléctrica, ayudando a controlar su costo, calidad y eficiencia.

Para lo consecución de los objetivos de la presente tesis, se utilizó el medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100. Un multímetro que permite visualizar las magnitudes eléctricas básicas en una distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes (sistemas) en esquema TN, TT e IT de tres o cuatro conductores.



**Figura 14-1** Medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100

Fuente: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/medidor-multifuncion>

Las características del SIEMENS SENTRON PAC3100 son:

a) Medición:

- Derivación de más de 30 magnitudes medidas a partir de las magnitudes básicas para tensiones y corrientes.
- El PAC3100 se puede conectar directamente a redes industriales de 480 V (categoría de medición III, grado de contaminación 2). Mayores tensiones si se usan transformadores de tensión.

- Apto para transformadores de corriente  $\times/5$  A. Relación de transformación y sentido de corriente programables.
- Para redes de 3 y 4 conductores. Apto para redes TN, TT e IT.
- Precisión de medida: clase 1 para tensiones, corrientes, potencia activa, potencia aparente, energía activa (según IEC 61557-12)
- TRMS hasta el 15° armónico

b) Contadores y valores medios (demanda) de potencia:

- 4 contadores miden la energía activa y la energía reactiva. Opcionalmente, visualización de 2 contadores en la pantalla.
- Determinación y memorización del último valor medio del periodo de demanda de la potencia activa y reactiva, para la generación sencilla de perfiles de carga mediante software.
- Periodo de demanda programable de 1 a 60 minutos.

c) Visualización y manejo:

- Gran pantalla gráfica retro iluminada de cristal líquido para una lectura óptima incluso a grandes distancias.
- Parametrización y manejo a través de menús en pantalla en texto claro.
- Selección de idioma para la visualización de menús y textos en pantalla.
- Identificadores de fases seleccionables (L1, L2, L3  $\Leftrightarrow$  a, b, c).

d) Alimentación:

- Fuente de alimentación de amplio rango de entrada AC/DC: Alimentación con 100 a 240 V AC  $\pm 10\%$ , 50/60 Hz, o 110 a 250 V DC  $\pm 10\%$ .

e) Formato de instalación:

- Formato de instalación en cuadro/tablero 96 x 96 mm.
- Calado total de tan solo 51 mm.

f) Interfaz:

- Interfaz Modbus RTU RS 485 integrada.

g) Entradas y salidas:

- 2 entradas digitales autoalimentadas para monitorizar el estado.
- 2 salidas digitales programables como salida de impulsos de energía para energía activa o reactiva o como salida lógica para telecontrol a través de la interfaz RS 485.

h) Protección:

- Sistema de protección por clave en el dispositivo mediante código de 4 dígitos.

## **1.6 MATLAB**

La “Matriz de Laboratorio” o simplemente “Matlab” es un entorno virtual y desarrollo de aplicaciones numéricas, simbólicas y gráficas (Ojeda, 2007, p.2); dirigido a la ejecución de cálculos matemáticos (por medio de vectores y matrices) y visualizaciones gráficas de los datos obtenidos de dichos cálculos en el ordenador sin la necesidad de tener conocimientos en programación; por lo cual, es considerado como un lenguaje de alto rendimiento en cálculos técnicos por contener su propio entorno y lenguaje de programación. (Fernández, 2009, p.4).

La facilidad de manejo proporcionada por Matlab permite la creación de funciones reutilizables mediante los M-archivos y su agrupación “en una vasta librería de toolboxes preinstaladas para el trabajo mediante algoritmos esenciales para su dominio” (MathWorks, <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>). La disponibilidad se encuentra en los sistemas operativos Unix, Macintosh y Windows; y en las plataformas de estaciones de trabajo Sun, Apollo, VAX Station y HP, Micro VAX, Gould.

Entre las principales características que presenta el programa destacan principalmente: las capacidades de cálculo numérico rápido con alta precisión y de manejo matemático, funciones para graficación y visualización avanzada, programación mediante lenguaje de alto nivel, soporte para programación estructurada y orientada a objetos, facilidades básicas para un diseño de interfaz gráfica, extensa biblioteca de funciones, y paquetes especializados para algunas ramas de la ciencia y la tecnología (Ojeda, 2007, p.2).

### 1.6.1 Operaciones básicas

Tomado el ejemplo de Fernando Berzal “Usando MATLAB como una calculadora tecleamos >> 1+1 y obtenemos el resultado ans = 2. El resultado de la operación queda almacenado, por defecto, en la variable ans” (Berzal, 2012, p.4).

Las operaciones aritméticas: suma, resta, multiplicación, división y exponenciación:

**Tabla 1-1:** Operaciones aritméticas en Matlab

OPERACIÓN ARITMÉTICA	OPERADOR
Suma	+
Resta	-
Multiplicación	*
División	/
Exponenciador	^

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

**Fuente:** Berzal/2012 (Inteligencia Artificial en la investigación operativa)

Las operaciones lógicas: Y (and), O (or), NO (not), y XOR (xor):

**Tabla 2-1:** Operaciones lógicas en Matlab

OPERACIÓN LÓGICA	OPERADOR
Y (and)	a&b
O (or)	a b
NO (not)	~a
XOR xor	(a,b)

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

**Fuente:** Berzal/2012 (Inteligencia Artificial en la investigación operativa)

Las operaciones de comparación: igualdad, desigualdad, menor que, mayor que, menor o igual, y mayor o igual.

**Tabla 3-1:** Operaciones de comparación en Matlab

OPERACIÓN DE COMPARACIÓN	OPERADOR
Igualdad	$a == b$
Desigualdad	$a \neq b$
Menor que	$a < b$
Mayor que	$a > b$
Menor o igual	$a \leq b$
Mayor o igual	$a \geq b$

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

**Fuente:** Berzal/2012 (Inteligencia Artificial en la investigación operativa)

### 1.6.2 Operaciones con matrices

Las operaciones con matrices: suma, resta, multiplicación, multiplicación escalar, multiplicación elemento a elemento, división elemento a elemento, exponenciación elemento a elemento, transposición (intercambio de filas por columnas)

**Tabla 4-1:** Operaciones con matrices en Matlab

OPERACIÓN	OPERADOR	EJEMPLO
Suma	+	$A+B$
Resta	-	$A-B$
Multiplicación	*	$A*B$
Multiplicación escalar	*	$s*A$
Multiplicación elemento a elemento	.*	$A.*B$
División elemento a elemento	./	$A./B$
Exponenciación elemento a elemento	.^	$A.^B$
Transposición (intercambio de filas por columnas)	'	$A'$

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

**Fuente:** Berzal/2012 (Inteligencia Artificial en la investigación operativa)

### 1.6.3 Matlab y sus Toolbox

En Matlab existen algunas librerías para diversas aplicaciones de acuerdo a las necesidades del proyecto a ejecutar, entre ellas tenemos.

#### 1.6.3.1 Signal Processing Toolbox

Funciones para el procesamiento de señal en el Signal Processing Toolbox. para:

- Análisis de filtros digitales.
- Implementación de filtros.
- Procesamiento de la transformada rápida de Fourier.

#### 1.6.3.2 The MATLAB C Math Library

Puede ser utilizada independientemente de **MATLAB** por programadores avezados en lenguaje C que necesiten prestaciones computacionales robustas y de alto rendimiento.

- Álgebra lineal.
- Operadores lógicos y aritméticos.
- Matrices elementales y manipulación de vectores.
- Matrices especiales.
- Estadística básica y análisis de datos.
- Gestión de cadenas de caracteres.
- Gestión de memoria y errores.

#### 1.6.3.3 The Matlab Compiler Toolbox

OBTENGA UNA VELOCIDAD DE EJECUCION HASTA 200 VECES SUPERIOR CON EL NUEVO COMPILADOR DE MATLAB

#### 1.6.3.4 Symbolic Math Toolbox

El nuevo compilador de Matlab -The MATLAB Compiler- permite crear código C optimizado procedente de archivos M -M files- de Matlab.

- Álgebra simbólica.



- Álgebra lineal exacta.
- Aritmética de precisión variable.
- Resolución de ecuaciones.

#### *1.6.3.5 Non Linear Control Design Toolbox*

Se trata del primer producto comercialmente disponible en la actualidad para el diseño de controladores automáticos en entornos de sistemas no lineales. Este nuevo toolbox está pensado para ser utilizado exhaustivamente por ingenieros que diseñan controladores para industrias avanzadas, destacando el sector del automóvil, ingeniería aeroespacial, control de procesos y empresas petroquímicas.

#### *1.6.3.6 Neural Network Toolbox*

Este toolbox proporciona funciones para el diseño, inicialización, simulación y entrenamiento de los modelos neuronales de uso más extendido en la actualidad: Perceptrón, redes lineales, redes de retropropagación, redes de base radial, aprendizaje asociativo y competitivo, aplicaciones autoorganizativas, aprendizaje de cuantización vectorial,

#### *1.6.3.7 Nag Foundation Toolbox*

Este toolbox proporciona un acceso interactivo, desde dentro de Matlab, a un amplio conjunto de funciones matemáticas y estadísticas.

## **1.7 LABVIEW**

La compañía National Instruments define a LabVIEW como: un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos que desarrollan sistemas de medidas y control. Con un lenguaje de programación gráfica nativo, IP integrado para análisis de datos y procesamiento de señales y una arquitectura abierta que permite la integración de cualquier dispositivo de hardware y cualquier enfoque de software (National Instruments, recuperado el 02 de noviembre del 2016 de <http://www.ni.com/labview/esa/>).

Este tipo de entorno de desarrollo permite la conectividad de gran cantidad de dispositivos de datos de cualquier tipo de “bus”, desde dispositivos sencillos de un canal hasta dispositivos de

alto rendimiento con varios canales con acondicionamiento de señales incluido; desde generadores de onda arbitraria hasta de red vectorial.

LabVIEW posee habilidades de análisis, interfaces de usuarios, incorporación de diferentes enfoques de programación. Además, presenta muchas ventajas en su uso por la variedad de sus aplicaciones: adquisición de datos, control de instrumentos, automatización de sistemas de pruebas de validación, diseño de sistemas embebidos de monitoreo y control, enseñanza académica y generación de prototipos; cuya descripción se muestra a continuación:

**Tabla 5-1:** Aplicaciones de LabVIEW

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Adquisición de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración con cualquier tipo de medida de cualquier sensor</li> <li>• Cuenta con una extensa biblioteca de controles de interfaz de usuario integrado para gráficos y tablas</li> <li>• Cuenta con biblioteca de señales, matemáticas y formatos</li> <li>• Analiza y procesa de forma avanzada señales</li> <li>• Visualiza datos en interfaces de usuario personalizadas</li> <li>• Registro de datos y generación de reportes</li> </ul>
Control de instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatización de colección de datos</li> <li>• Control de múltiples instrumentos</li> <li>• Análisis y visualización de señales</li> <li>• Permite descarga de controladores certificados en línea para el control e instrumentos específicos</li> <li>• Visualiza resultados utilizando interfaces de usuario personalizados y escoger como almacenar y reportar datos</li> </ul>
Automatización de sistemas de pruebas de validación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatiza pruebas de validación y producción de producto</li> <li>• Control de múltiples instrumentos</li> <li>• Análisis y visualización de resultados de pruebas con interfaces de usuario personalizados</li> <li>• Ahorra tiempo al suprimir la sintaxis basada en texto</li> </ul>
Diseño de sistemas embebidos de monitoreo y control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutiliza código ANSI C y HDL</li> <li>• Integra hardware comercial</li> <li>• Genera prototipos con tecnología FPGA</li> <li>• Acceso a herramientas personalizadas para medicina, robótica, etc.</li> </ul>
Enseñanza académica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque práctico e interactivo de aprendizaje</li> <li>• Combinación de diseño de algoritmos con medidas de datos reales</li> <li>• Aumento del rendimiento de aplicaciones con procesamiento multi núcleo</li> <li>• Incorporación en proyectos de diseño y cursos de investigación</li> </ul>
Generación de prototipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de prototipos para SDR</li> <li>• Arquitectura de desarrollo para LTE y 802.11</li> <li>• Entorno de desarrollo simple para FPGA'S</li> </ul>

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

**Fuente:** National Instruments/s.f. (<http://www.ni.com/labview/esa/>)

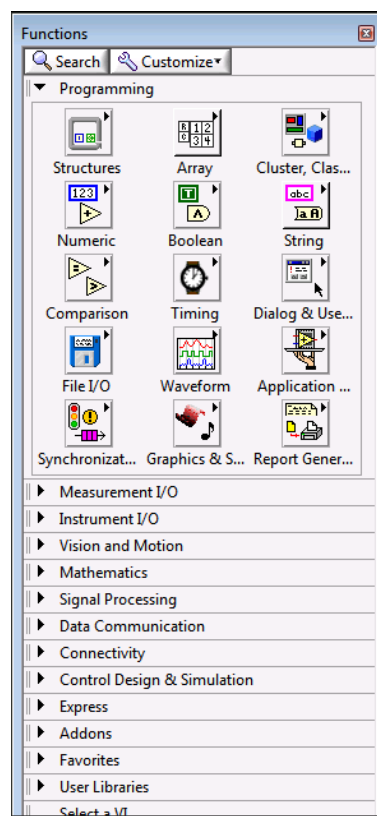
### **1.7.1 Partes Importes de LabVIEW**

Los programas desarrollados en LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VI), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real, Todos los VI entre sus partes

más importante teneos: a). Panel frontal, b). un diagrama de bloques y c). Las paletas de comandos.

- Panel Frontal: Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario, un panel frontal está constituido por una serie de botones, medidores de nivel, indicadores, gráficos, etc.
- Diagrama de bloques: Constituye el código fuente del VI, incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora el programa LabVIEW, el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Los diagramas de bloques se construyen conectando los distintos objetos entre sí, Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes para obtener una señal entre los objetos.
- Paletas: Las paletas de LabVIEW contienen las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques.

Paleta de funciones (functions palette): Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. Esta paleta contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, etc.



**Figura 15-1** Paleta de Funciones

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/environment>

## 1.8 MICROSOFT OFFICE, EXCEL

Es una aplicación por medio de la cual los usuarios pueden crear, procesar, editar, almacenar, compartir e incluso imprimir hojas de cálculo, es la principal herramienta informática para aquellos usuarios que quieran crear y procesar datos, teniendo entre otros aspectos la posibilidad de registrar en orden correlativo los distintos datos, así como de introducir distintas fórmulas matemáticas tales como: suma, resta, multiplicación, división o diferentes operaciones estadísticas. Lo que también se traduce en ahorro de horas de trabajo.

Una de las características fundamentales de Excel es de dar la opción al usuario de ingresar los datos, disponiéndolos en las distintas celdas que ofrece la hoja de cálculo. En este sentido, esta plataforma digital está diseñada para imitar las hojas de cálculo matemáticas, Igualmente, las celdas de Excel cuentan con la propiedad de tener una especie de memoria, que le permite al programa guardar datos.

## **1.9 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO PARA MONITOREO**

Si se observa con detenimiento el entorno contemporáneo de nuestro mundo, es posible observar que por doquier se encuentran señales de todo tipo. El simple hecho de comunicarse para el hombre en todas sus formas, sea de forma hablada, escrita o por señales, involucra la utilización de ciertos elementos que componen un determinado lenguaje; entendido de forma sencilla como el “conjunto de señales que dan a entender algo” (RAE, <http://dle.rae.es/?id=N7BnIFO>), estructurado por una parte léxico gráfica que corresponde a los símbolos utilizados, la sintaxis que refiere el orden y combinaciones de los símbolos, y una semántica, relativa al sentido que deben de llevar las anteriores.

El interés del hombre por crear máquinas que faciliten ciertas actividades y satisfagan necesidades de forma automatizada, conllevaron al diseño e implementación de lenguajes artificiales destinados a dichas máquinas en determinadas funciones.

El primer lenguaje artificial también conocido como “código” en sus inicios, y utilizado para dar órdenes específicas a una máquina mecánica, fue el implementado en la creación de Joseph Marie Jacquar, conocida como el “telar de Jacquar”, creada en los inicios del siglo XIX y que tejía determinados patrones de tela mediante la decodificación de tarjetas perforadas. El modelo inspiró posteriormente el diseño de la “máquina analítica” de Charles Babbage, cuyo propósito era construir una máquina programable con los programas elaborados por Lady Ada Lovelace.

La aparición de los primeros computadores modernos a partir de los años cuarenta del siglo XX, creados a partir de programas informáticos generó la aparición de diversos lenguajes de programación, los cuales se han desarrollado y/o evolucionado conforme a: necesidades, avance de la tecnología, y el uso del internet. Es “un programa es el conjunto de instrucciones que hacen funcionar a la computadora” (Aguilar 2000, P.32).

El lenguaje de programación se fundamenta en la estructura del lenguaje natural: la parte léxico gráfica, sintaxis y semántica; por lo cual, “es la combinación de símbolos y reglas que permiten la elaboración de programas con los cuales la computadora puede realizar tareas o resolver problemas de manera eficiente” (Corona y Ancona, 2011, p.2).

### ***1.9.1 Clasificación***

La clasificación de los lenguajes de programación, es variante y dependiente del enfoque que se les dé, de acuerdo a:

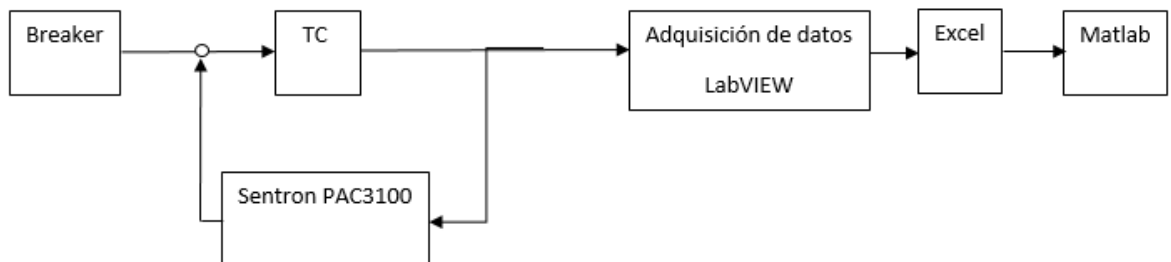
- a) Nivel de abstracción: lenguajes de bajo nivel, lenguajes de medio nivel y lenguajes de alto nivel.
- b) Paradigma: paradigma imperativo, paradigma declarativo, paradigma estructurado, y paradigma orientado a objetos, paradigma funcional, paradigma lógico.
- c) Ejecución: Lenguajes compilados y lenguajes interpretados.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

El lugar donde se implementó este trabajo de titulación fue en el laboratorio máquinas eléctrica de la Facultad de Informática y Electrónica, en el tablero de distribución trifásica, el cual es utilizado para las clases y prácticas que se dan en dicho laboratorio.

Para la ejecución de este trabajo de titulación se va adquirir datos del sistema eléctrico trifásico, con los cuales se va aplicar inteligencia artificial, con la creación de una red neuronal para la predicción de la demanda futuros. Para lo cual se va a seguir el siguiente diagrama de bloque para alcanzar los objetivos de dicho trabajo. Como se indica en la figura 1-2.



**Figura 1-2** Diagrama de Bloques

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

## 2.1 El laboratorio de máquinas eléctricas de la Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales de la ESPOCH



**Figura 2-2** Panorámica de Laboratorio de máquinas eléctricas

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

El laboratorio de máquinas eléctricas es utilizado en las prácticas de: laboratorio de máquinas, máquinas eléctricas 1 y máquinas eléctricas 2, electrónica de potencia 1 y electrónica de potencia 2 cátedras de la carrera de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales de la Facultad de Informática y Electrónica dentro de la Escuela Politécnica del Chimborazo. Como se puede observar en la figura 2-2

El equipo principal para prácticas de cargas eléctricas trifásicas consta de varios breaker de diferentes valores nominales, porta fusibles para la protección de los breaker, dos breaker de control, un breaker principal para energizar al tablero trifásico y con transformadores de corrientes. Como se puede ver en la figura 3-2

El diagrama eléctrico unifilar del tablero se encuentra en el ANEXO C.



**Figura 3-2** Tablero Trifásico del laboratorio  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

Cuya descripción técnica consta de:

- Un breaker principal de 80 Amp:





**Figura 4-2** Breaker principal de 80 AMP  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

- Tres portas fusibles de 32 Amp: Para la protección de sobre carga de corriente eléctrica en cada una de la línea trifásica. Tal como se puede observar en la figura 5-2



**Figura 5-2** Porta fusibles de 32 Amp  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

- Dos breakers de 3 polos de 63 Amp: De control



**Figura 6-2** Breakers de 3 polos de 63 Amp  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

- 3 TC (transformador de corriente): para la obtención de la señal para el sentron PAC3100



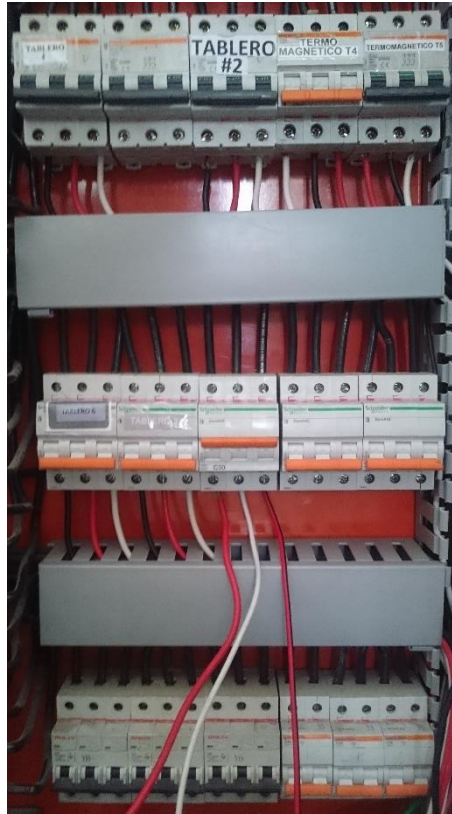
**Figura 7-2** TC (Transformadores de corriente)  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

- Tres barras de cobre de  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$  pulgadas por cada línea:



**Figura 8-2** Barra de cobre de  $\frac{1}{4}$  x  $\frac{1}{2}$  pulgadas  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

- En el tablero de práctica consta de los siguientes breakers: 4 breaker de 3 polos de 63 Amp, 6 breakers de 3 polos de 50 Amp, 3 breaker de 3 polos de 40 Amp y 3 breakers de 2 polos de 40 Amp. Como se puede observar en la



**Figura 9-2** Brakers de práctica  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

- Motores de Practicas: La materia de laboratorio de máquinas cuenta con los siguientes motores como te indica en las siguientes figuras y sus valores nominales como se muestra en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2** Descripción de los motores de practicas

Motores	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	FP	Potencia (w)
ABB	220-230 YY	4.98	0.775	1.5
	440-460 Y	2.44	0.775	1.5
Voges	110	10.8	--	1
	220	5.4	--	1
Three motor	220	4.80	0.80	1.1
	440	2.40	0.80	1.1

**Fuente:** Coronel, Boris; 2017



**Figura 10-2** Motor ABB  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



**Figura 11-2** Motor Voges  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



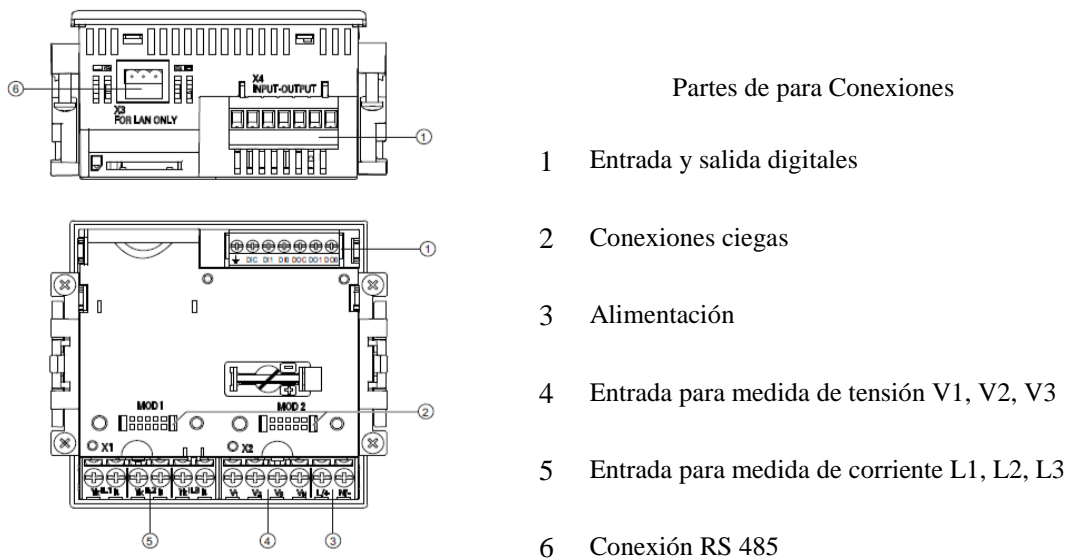
**Figura 12-2** Motor Three Phase  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

## 2.2 Instalación Sistema de Monitoreo Eléctrico

El proceso de instalación del sistema de monitoreo eléctrico incluyó la ejecución de tres pasos principales: el montaje y cableado del dispositivo de monitoreo, conexión de convertor de comunicación y comprobación de los parámetros del dispositivo eléctrico.

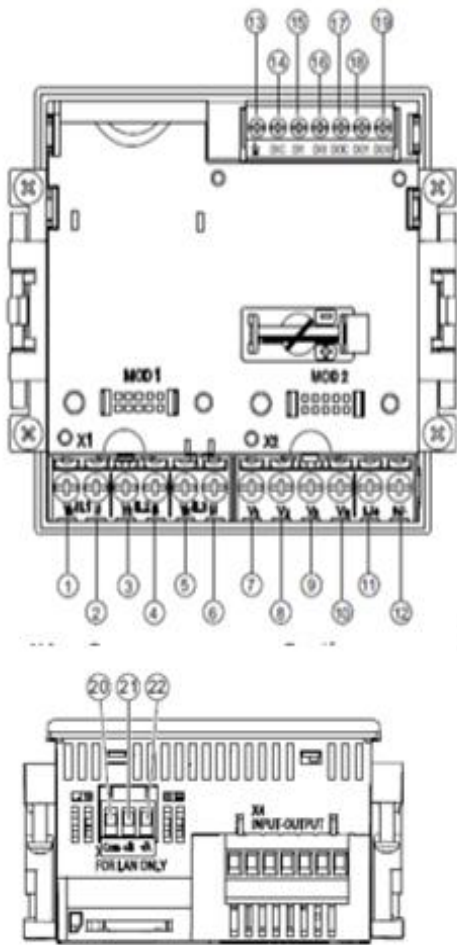
### 2.2.1 Montaje y Cableado, Siemens SENTRON PAC3100

El proceso de montaje y cableado del dispositivo se realizó con la utilización de cable eléctrico flexible #18 AWG que soporta una carga de energía hasta 10 Amp, ya que equipo tiene un consumo de 0.1 Kw, en tres colores: color negro para las conexiones de entrada y salida de corriente y voltaje de cada línea; color azul para la comunicación RS485; color rojo para la conexión positiva y color negro para neutro en la alimentación de corriente continua del dispositivo. Las conexiones se realizaron conforme a las designaciones de conexiones establecidas de fábrica del dispositivo conforme a la Figura 13-2 que se muestra a continuación:



**Figura 13-2** Designación de Conexiones  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

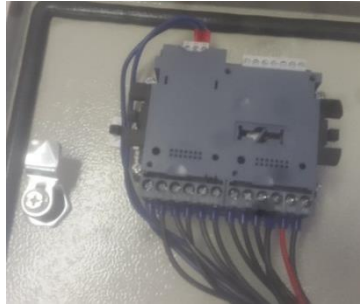
Las entradas y salidas de corriente del dispositivo se utilizaron conforme a los bornes designados por fabrica que se muestran a continuación en la figura 14-2:



N	Bornes	Función
1	IL1 ↑K	Corriente $I_{L1}$ , entrada
2	IL1 ↓	Corriente $I_{L1}$ , salida
3	IL2 ↑K	Corriente $I_{L2}$ , entrada
4	IL2 ↓	Corriente $I_{L2}$ , salida
5	IL3 ↑K	Corriente $I_{L3}$ , entrada
6	IL3 ↓	Corriente $I_{L3}$ , salida
7	$V_1$	Tensión $U_{L1-N}$
8	$V_2$	Tensión $U_{L2-N}$
9	$V_3$	Tensión $U_{L3-N}$
10	$V_N$	Neutro
11	L/+	Conexión positiva
12	N/-	Conexión neutra
20	Com	Común = masa
21	+/B	Señal B; D1
22	-/A	Señal A; D0

**Figura 14-2** Designación de Conexiones  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

En la figura 15-1 se puede observar como este cableado en sentron PAC3100, como indica el manual de usuario



**Figura 15-2** Cableado de Sentron PAC3100  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

Finalizado el cableado, el dispositivo fue montado en la caja térmica de 30 x 30 x 40 (centímetros) y un fusible de 32 Amp para la protección de las conexiones.



**Figura 16-2** Montaje de Sentron PAC3100 en caja térmica  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.2.2 *Convertor de comunicación RS485 a RS232*

El cableado azul saliente de la conexión RS485 del dispositivo Sentron PAC3100 fue conectado en la entrada RS485 del convertor de comunicación para la obtención de un tipo de conexión RS232.



**Figura 17-2** Convertor RS 485 a RS232  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017



### 2.2.3 Comprobación de los parámetros del SENTRON PAC3100

El proceso de comprobación de parámetros se realizó mediante de la obtención de la señal de corriente a través de los TC (transformador de corriente) por cada línea de corriente y fueron conectados a los bornes de entrada de corriente del Sentron Pac3100.

Los datos de la red eléctrica por fabricación del dispositivo visualizados fueron: voltaje línea-neutro por cada línea, voltaje línea-línea por cada línea, corriente instantánea de línea, corriente nominal instantánea del sistema, potencia aparente por cada línea, potencia activa por cada línea, potencia reactiva por cada línea, sumatoria de potencias, factor de potencia del sistema, frecuencia instantánea del sistema, energía activa y energía reactiva. Como se lo puede observar en las siguientes figuras.

- Voltaje línea – neutro por cada línea (V):



**Figura 18-2** Voltaje línea – neutro por cada línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Voltaje línea – línea por cada línea (V)



**Figura 19-2** Voltaje línea – línea por cada línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Corriente instantánea de línea (A)



**Figura 20-2** Corriente instantánea de línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Corriente nominal instantánea del sistema (A)



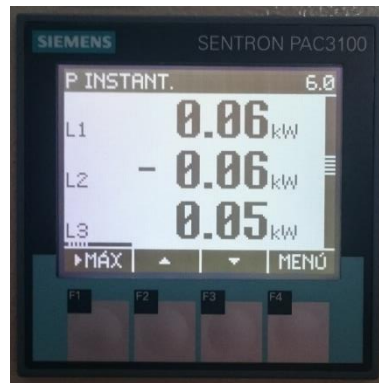
**Figura 21-2** Corriente nominal instantánea del sistema  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Potencia Aparente por línea (kVA)



**Figura 22-2** Potencia Aparente por línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Potencia Activa por línea (kw)



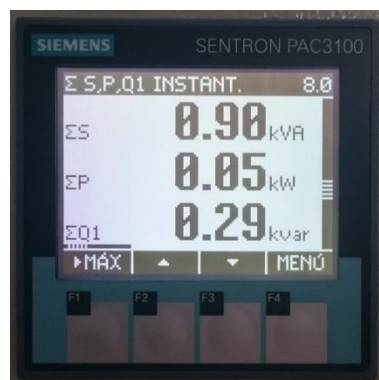
**Figura 23-2** Potencia Activa por línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Potencia Reactiva por línea (Kvar)



**Figura 24-2** Potencia Reactiva por línea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Sumatoria de las potencias (kVA, kw, kvar)



**Figura 25-2** Sumatorias de Potencias  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Factor de Potencia



**Figura 26-2** Factor de Potencia  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Frecuencia instantánea (Hz)



**Figura 27-2** Frecuencia Instantánea  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Energía Activa (kwh)



**Figura 28-2** Energía Activa  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

- Energía Reactiva



**Figura 29-2** Energía Reactiva  
Fuente: Coronel, Boris; 2017

### 2.3 Obtención y adquisición de datos

Para la obtención y la adquisición de los datos de la red eléctrica se utilizó el programa LabVIEW y el dispositivo sentron PAC3100 siemens, el cual tiene una comunicación Modbus RTU y una conexión al bus RS 485.

En la conexión RS 485 se tuvo que conectar en conversor de RS 485 a RS 232 para la comunicación del sentron PAC3100 a la unidad de almacenamiento de datos, que en este caso se utilizó un CPU.

#### 2.3.1 Programación y configuración de adquisición de datos

En la programación para la adquisición con labVIEW se procedió en la instalación de la librería de la comunicación de Modbus, para que se pueda comunicar el sentron PAC3100 con el programa general.

Para la programación de la adquisición de los datos de la red eléctrica se tomaron algunos parámetros para configuración el programa general.

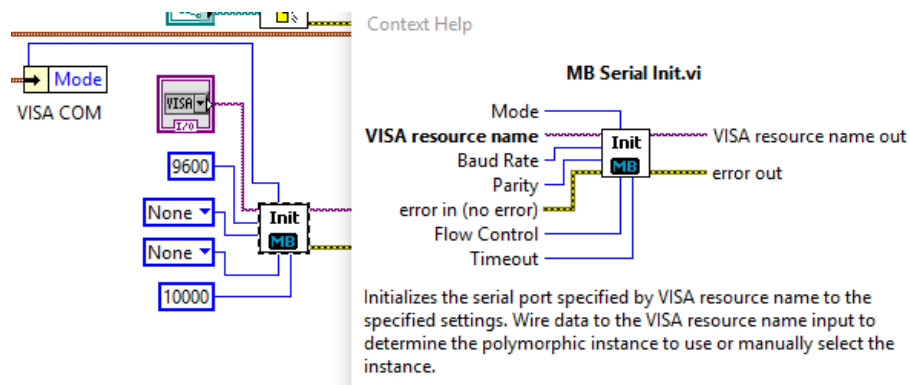
- Comunicación Modbus
- Archivo donde se guardan los datos
- Visa com
- Parámetro seriales

- Tiempo desde la última toma de datos
- Periodo de toma de datos
- Registro que se lee
- Valor leído del registro
- Valor del registro leído
- String que se guarda en Excel
- Habilitación de lectura

### 2.3.1.1 Comunicación Modbus

En el bloque de la comunicación Modbus se configuro el tipo de comunicación que se requirió para poder acceder al dispositivo y que se pueda comunicar con el programa de la adquisición de los datos. Como se pueda observar en la figura 30-2

Se definió la velocidad de transmisión y la paridad que se utilizó para la trama de la transmisión de comunicación.



**Figura 30-2** Comunicación Modbus

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

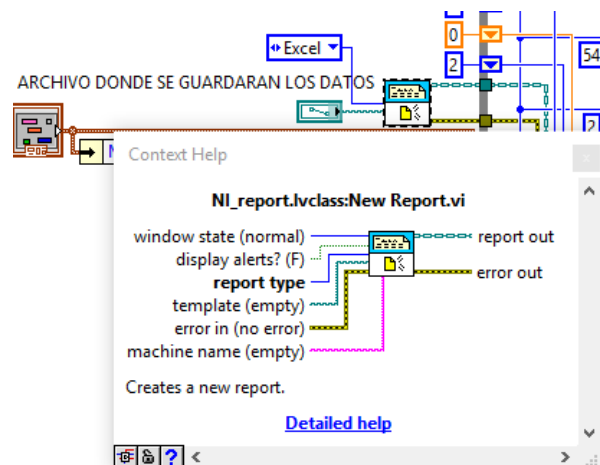
- Mode. Se utiliza para definir el tipo de modbus entre RTU y ASCII, en este caso por fabricación el dispositivo sentron PAC3100 que viene predeterminado con modbus RTU con 8 bits de datos.
- VISA resource name. El recurso o medio con que se va abrir y controlar la sesión de trabajo.
- Baud Rate. El valor de la velocidad de transmisión de los datos, el sentron PAC3100 por fabricación tiene una velocidad de 9600 baud.
- Parity. Se define la paridad que se utiliza en la trama de transmisión con paridad impar, paridad par y paridad espacial.

- Flow Control. El sentron PAC3100 utiliza la señal de salida RTS y la señal de entrada CTS para realizar el control de la transmisión.
- Timeout. El periodo máximo de tiempo en milisegundos para una respuesta del dispositivo esclavo.
- VISA resource name out. Si el recurso al que se abre una sesión de trabajo, si clase coincide con la entrada de nombre de recurso de trabajo.
- Error out. Contiene la información del error.

### 2.3.1.2 Archivo donde se guardan los datos

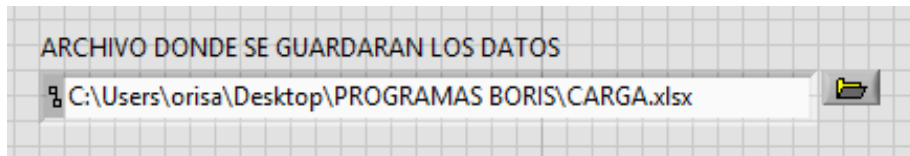
En esta venta se puede elegir y definir la manera de cómo se puede guardar los datos obtenidos, se puede elegir entre Standard Report (reporte estandar), HTML, Word y Excel.

En esta aplicación se optó por Excel, por mejor manejo de los datos y luego ser llamado en el programa de Matlab para la construcción de la red neuronal. Com se indica en la figura 31-2



**Figura 31-2** Archivo donde se guardan los datos  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

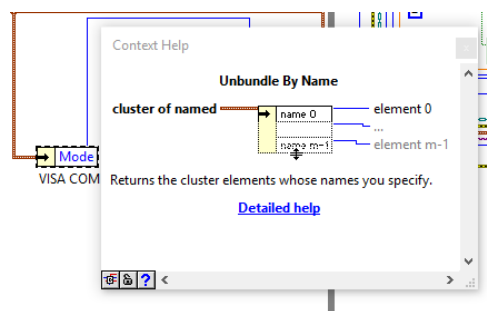
- Window state. Para definir el programa en el cual se desea guardar los datos.
- Template. Especifica la ruta de acceso al documento donde se están guardando los datos adquiridos.
- Reporto out. Datos que desea imprimir o controlar.
- Errot out. Salida de funcionalidad de error estándar.



**Figura 32-2** Visualización del archivo donde se guardan los datos  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.3 Puerto USB

Se definirá el puerto USB de comunicaciones de datos digitales, desde el computador hacia el dispositivo sentron PAC3100 para la adquisición de los datos de la red eléctrica.



**Figura 33-2** Puerto USB  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

- Cluster of named. Puerto a que se desea acceder para la comunicación.
- Element 0. Entrada del elemento o grupos de elementos que se desea adquirir.

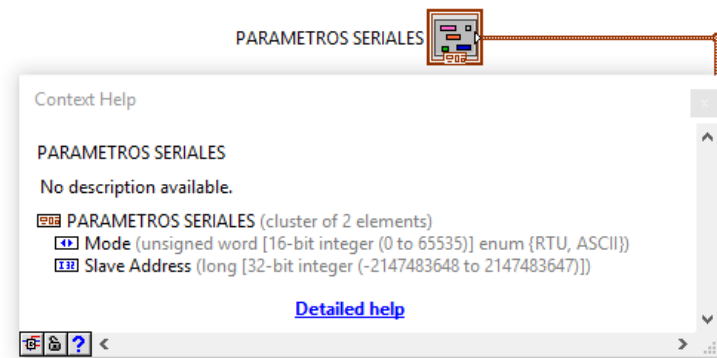


**Figura 34-2** Visualización del Puerto USB  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.4 Parámetros seriales

El sentron Pac3100 por fabricación bien predeterminado con una comunicación RTU y una velocidad de comunicación de 9600 baudio.

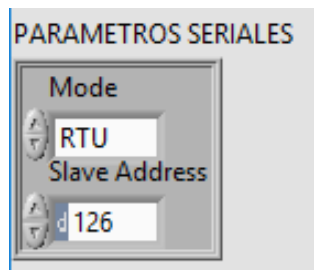




**Figura 35-2** Parámetros Seriales

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

- Mode. Se definen el tipo de comunicación entre RTU o ASCII.
- Slave Address. Dirección de dispositivo esclavo para la comunicación, por fabricación en sentron PAC3100 viene con la dirección 126

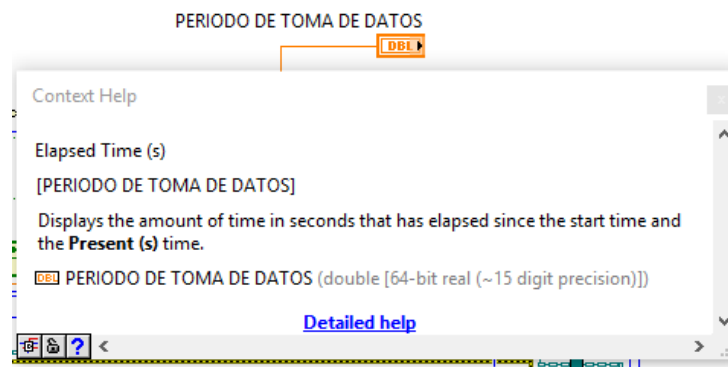


**Figura 36-2** Visualización de los Parámetros Seriales

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.5 Periodo de toma de datos

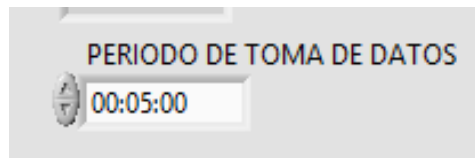
En este bloque se va a configurar el período en que se va a obtener los datos de la red eléctrica, se puede definir el periodo de tiempo en segundo, minutos y horas.



**Figura 37-2** Periodo de toma de datos

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

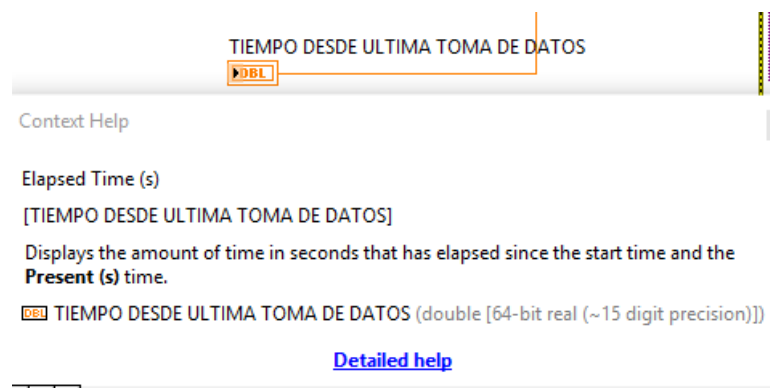
- Valor doble de 32 bit de dato de tipo real y 15 dígito de precisión



**Figura 38-2** Visualización del periodo de toma de datos  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

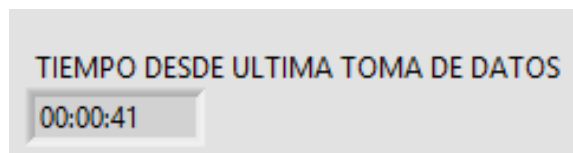
### 2.3.1.6 Tiempo desde la última toma de datos

Se toma el valor de tiempo que se ha programado para cada adquisición de datos, después que haya culminado el tiempo determinado comienza a repetirse el tiempo.



**Figura 39-2** Tiempo desde la última toma de datos  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

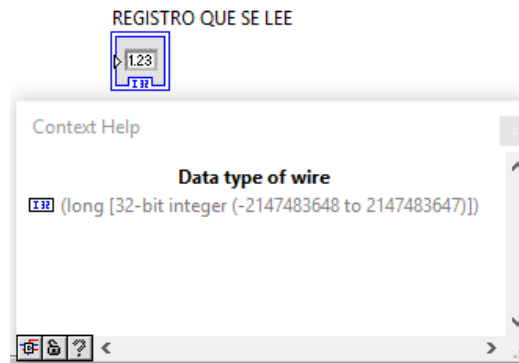
- Valor doble de 32 bit de dato de tipo real y 15 dígito de precisión.



**Figura 40-2** Visualización del tiempo desde la última toma de datos  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

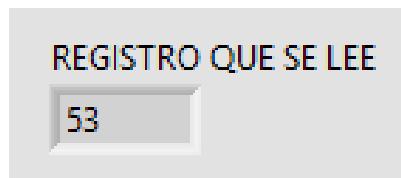
### 2.3.1.7 Posición del Registro

El sentron PAC3100 tiene registro para cada uno de los datos que contienen un sistema eléctrico trifásico, como el valor de voltaje de línea a línea, voltaje de línea a neutro, corrientes, factor de potencia etc.



**Figura 41-2** Posición del Registro  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

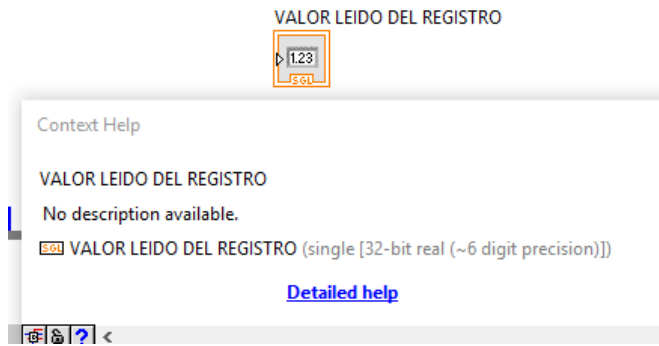
- 32 bit de datos tipo entero.



**Figura 42-2** Visualización de la Posición del Registro  
**Fuente:** Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.8 Valor leído del registro.

Se registra el valor adquirido de la red eléctrica, se guarda en una hoja de Excel con la hora y fecha en cada uno de los parámetros que se ha determinado obtener.



**Figura 43-2** Valor leído del registro  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

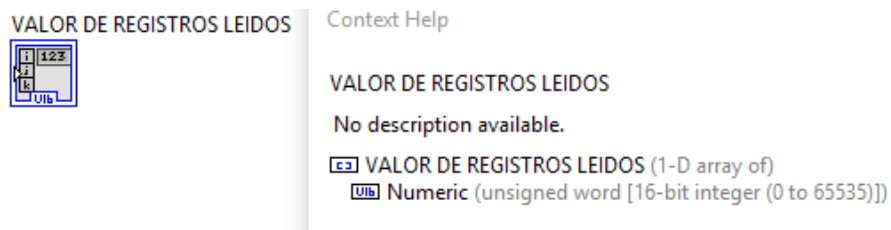
- Puede guardar un valor de 32 bit de dato de tipo real.



**Figura 44-2** Visualización del valor leído del registro  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

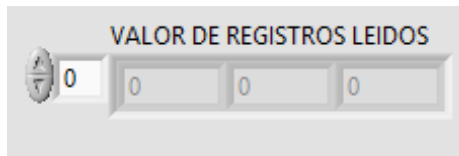
### 2.3.1.9 Valor del registro leído

En el bloque del valor de registro leídos, el sentron PAC3100 lee el registro dos veces en binario y se tiene de hacer una conversión a un registro de tipo entero para poder guardar.



**Figura 45-2** Valor del registro leído  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

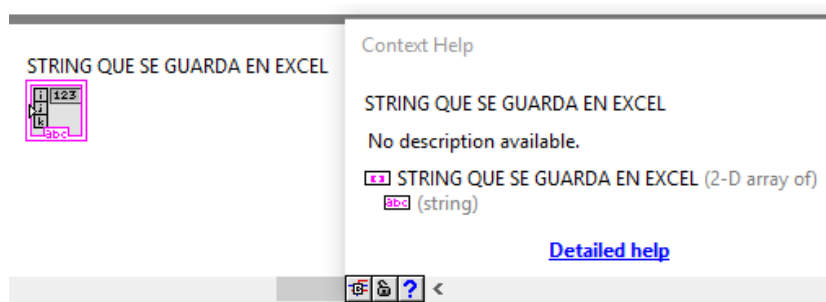
- Numeri. 16 bit de datos de tipo entero por cada registro.



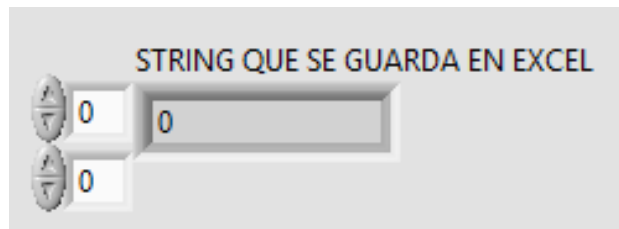
**Figura 46-2** Visualización del valor del registro leído  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.10 Sting que se guarda en Excel

Del valor del registro leído sale un registro de tipo entero, para que el registro se pueda ser manipulado en la hoja de Excel se tiene que ser un cambio de tipo de dato.



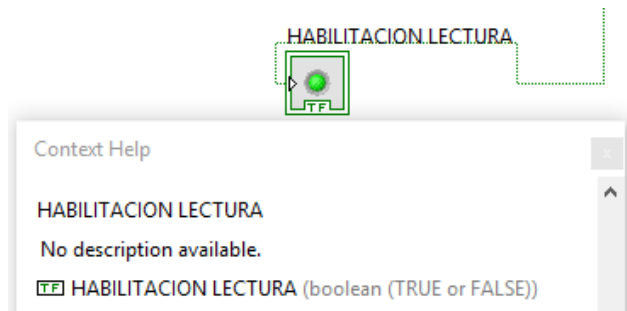
**Figura 47-2** String que se guarda en Excel  
 Fuente: Coronel, Boris; 2017



**Figura 48-2** Visualización del string que se guarda en Excel  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.11 Habilitación de lectura

Habilitar el programa para que se pueda adquirir los datos



**Figura 49-2** Habilitación de lectura  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

- Botón de tipo booleano (verdadero o falso)



**Figura 50-2** Visualización de la habilitación de lectura  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

### 2.3.1.12 Programa de adquisición de datos

El diagrama de la programación en bloque en labVIEW se encuentra en el ANEXO E



**Figura 51-2** Visualización del programa de adquisición de datos  
**Realizado por** Coronel, Boris; 2017

## 2.4 Registro de datos del sentron PAC3100

Por configuración de fabricación del dispositivo sentron PAC3100 ya viene predeterminado los registros de cada una de las líneas del sistema trifásico al cual se va a monitorear como:

- Tensiones de línea a neutro
- Tensiones de línea a línea
- Corrientes de línea
- Potencias aparentes
- Potencias activas
- Potencias reactivas
- Corriente de neutro
- Frecuencia
- Potencias aparentes totales
- Potencias activas totales
- Potencias reactivas totales
- Factor de potencia

### 2.4.1 Registro en Excel

Para el registro de los datos adquiridos del sentron PAC3100 se configuro en el programa de labVIEW que se guarde en una hoja de Excel para una mejor manipulación, en la siguiente tabla se indicar los datos que sean adquirido.

**Tabla 2-2** Registro de datos a adquirir

Registro	Dato a Registrar
1	Tensión L1-N
3	Tensión L2-N
5	Tensión L3-N
7	Tensión L1-L2
9	Tensión L2-L3
11	Tensión L3-L1
13	Corriente L1

15	Corriente L2
17	Corriente L3
19	Potencia aparente L1
21	Potencia aparente L2
23	Potencia aparente L3
25	Potencia activa L1
27	Potencia activa L2
29	Potencia activa L3
31	Potencia reactiva L1 (Q1)
33	Potencia reactiva L2 (Q1)
35	Potencia reactiva L3 (Q1)
37	Corriente por neutro
39	Frecuencia Hz
47	Potencia aparente total
49	Potencia activa total
51	Potencia reactiva total (Q1)
53	Factor de potencia total

**Realizado por:** Coronel Boris

**Fuente:** Manual de usuario del siemens sentron PAC3100

Los datos adquiridos de la red trifásica del laboratorio de máquinas de las ESPOCH, se guardarán en cada uno de sus registros con la fecha y la hora en la hoja de Excel, como se puede mostrar en la figura. Como se puede observar en la figura 52-2.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2			TESNION L1-N	TESNION L2-N	TESNION L3-N	TENSION L1-L2	TENSION L2-L3	TENSION L3-L1	CORRIENTE L1	CORRIENTE L2	CORRIENTE L3	POT APAR L1	POT APAR L2
3	5/12/2016 16:52		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
4			123	123	124	213	214	214	1	1	1	177	
5	5/12/2016 16:57		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
6			124	123	123	213	214	214	1	1	1	178	
7	5/12/2016 17:02		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
8			124	123	123	213	214	214	1	1	1	178	
9	5/12/2016 17:07		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	

**Figura 53-2** Registro en Excel  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

### 2.4.2 Codificación de datos

Para la creación de la red neuronal se tomó en cuenta 7 variables de entrada como se detalla en la tabla 3-2, para la determinación de la demanda que debe tener en cuenta el laboratorio de máquina de la escuela de electrónica en control y redes industriales.

**Tabla 3-2** Codificación de datos

No	Variable	Codificación
1	Mes	Enero = 0 – Diciembre = 11
2	Día de la semana	Lunes = 0 – Domingo = 6
3	Hora del día	0 h = 0 – 23 h = 23
4	Días laborables	Laborable = 0 – fin de semana y fiestas = 1
5	Materia	Laboratorio de máquinas = 0, electrónica de potencia = 1 y libre = 2
6	Activa realiza en el laboratorio	Clases = 0, practicas = 1 y libre = 2
7	Numero de estudiante	0 – 60

**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

Se procede a llenar la hoja de Excel con los códigos que se estableció en la tabla 3-2, como se indica en la figura 53-2.

Como la hoja llenada, se procede a determinar la potencia con los valores de voltaje y corriente que se obtuvo en el monitoreo del laboratorio de máquinas en el sistema trifásico.

	5/12/2016				
MES (0-11)	11	11	11	11	11
DIA DE LA SEMANA (0-6)	0	0	0	0	0
HORA DIA (0-23)	16:52	16:57	17:02	17:07	17:12
FIN SEMANA-FIESTAS (0-1)	0	0	0	0	0
MATERIA (0-2)	0	0	0	0	0
CLASES,EXAMANES-PRACTICAS (0-2)	1	1	1	1	1
NUMERO DE ESTUDIANTES (0-60)	3	3	3	3	3
CONSUMO KW	1218,6	1294,7	1218,0	1218,6	1218,6

**Figura 53-2** Codificación de datos  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.4.3 Datos en cambio de escala

- **Tipificados.** Se resta la media y se divide por la desviación estándar,  $(x-\text{media})/s$ .
- **Normalizados.** Se resta el mínimo y se divide por el rango,  $(x-\text{mín})/(\text{máx}-\text{mín})$ . Los valores normalizados quedan comprendidos es entre 0 y 1.
- **Ninguno.** Sin cambio de escala de covariables.

Para este trabajo de titulación se realizó una normalización para convertir los datos adquiridos en datos binarios, tal cual se puede ver en la figura 54-2 para poder trabajar con las redes neuronales y sus algoritmos de entrenamientos.

MES (0-11)	$(X1-0)/(11-0)$	1,0	1,0	1,0
DIA DE LA SEMANA (0-6)	$(X2-0)/(6-0)$	0,0	0,0	0,0
HORA DIA (0-23)	$(X3-0)/(31-0)$	0,0	0,0	0,0
FIN SEMANA-FIESTAS (0-1)	$(X4-0)/(1-0)$	0,0	0,0	0,0
MATERIA (0-2)	$(X5-0)/(2-0)$	0,0	0,0	0,0
CLASES,EXAMANES-PRACTICAS (0-2)	$(X6-0)/(2-0)$	0,5	0,5	0,5
NUMERO DE ESTUDIANTES (0-60)	$(X7-0)/(60-0)$	0,1	0,1	0,1
CONSUMO KW	$(X8-0)/(1500-0)$	0,8	0,9	0,8

**Figura 54-2** Datos en cambio de escala  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

## 2.5 Aplicación de Inteligencia Artificial

Para la aplicación de inteligencia artificial que se realizó en este trabajo de titulación se utilizó el programa Matlab, el cual contiene comando para la creación de las redes neuronales y algoritmo para su entrenamiento.

- **nstart:** cual nos permite determinar, el número de capas ocultas, porcentaje de entrenamiento, porcentaje de prueba y porcentaje de validación.

### 2.5.1 Ingreso de datos en Matlab

En la creación de la red neuronal con Matlab, se debe ingresar las variables de entradas como la variable de salida y las capas oculta y la de salida

Como se indica en la figura 54-2 se lee cada una de las variables que están guardadas en la hoja de Excel desde la celda de inicio hasta la celda del último dato a ser leído.

Para la lectura de los datos de cada variable que se encuentra en la hoja de Excel y que se pueda leer desde Matlab se utilizó el comando `xlsread`. Como se indica en la figura 55-2.



```
Editor - C:\Users\orisa\Desktop\PROGRAMAS MATLAB\PROGRAMAS MATLAB\red2.m
red2.m resultados.m +
1 - clear all;
2 - clc;
3 - mes=xlsread('VARIABLES',4,'D8:OVH8');
4 - dia=xlsread('VARIABLES',4,'D9:OVH9');
5 - hora=xlsread('VARIABLES',4,'D10:OVH10');
6 - fin_sem=xlsread('VARIABLES',4,'D11:OVH11');
7 - materia=xlsread('VARIABLES',4,'D12:OVH12');
8 - clases_exam=xlsread('VARIABLES',4,'D13:OVH13');
9 - num_est=xlsread('VARIABLES',4,'D14:OVH14');
10 - kw=xlsread('VARIABLES',4,'D15:OVH15');
11 - inputs1=[mes; dia; hora; fin_sem; materia; clases_exam; num_est;];
12 - targets1=[kw];
13 - inputs = inputs1(1:7,1:8574); %80%
14 - targets=targets1(1,1:8574);
15 - val_inputs = inputs1(1:7,8574:10717);
16 - val_targets=targets1(1,8574:10717);
```

**Figura 55-2** Ingreso de variable en Matlab

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

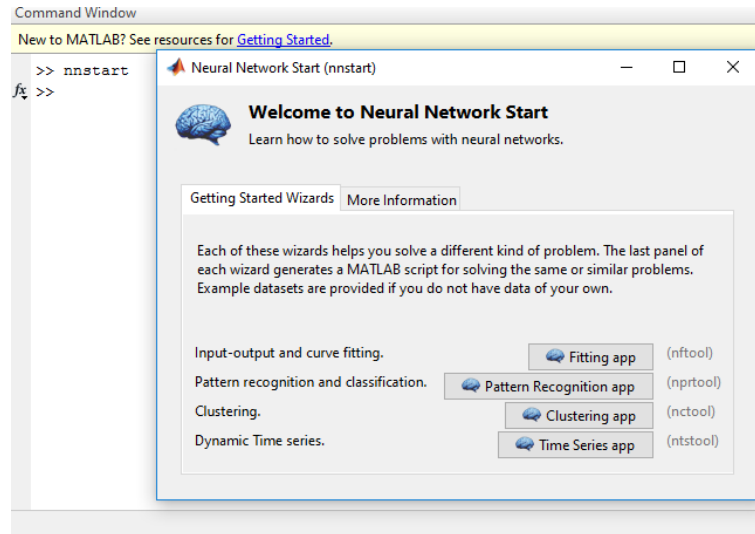
- Nombre de la variable=`xlsread('nombre del archivo de Excel', número de hoja de trabajo en Excel, celda inicia:celda final)`;
- `inputs1`. Ingresamos las variables de entradas.
- `targets1`. Ingresamos la variable de salidas
- `val_inputs`. Para las capas ocultas.
- `val_targets`. Para la capa de salida.

### 2.5.2 Creación de la Red Neuronal

En la creación de la red neuronal se aplicó el comando `nnstart`.

**nnstart**. Este comando sirve para el ajuste de la red neuronal, entrada y salida de reconocimiento de patrones de datos, agrupación y herramientas de series de tiempo.

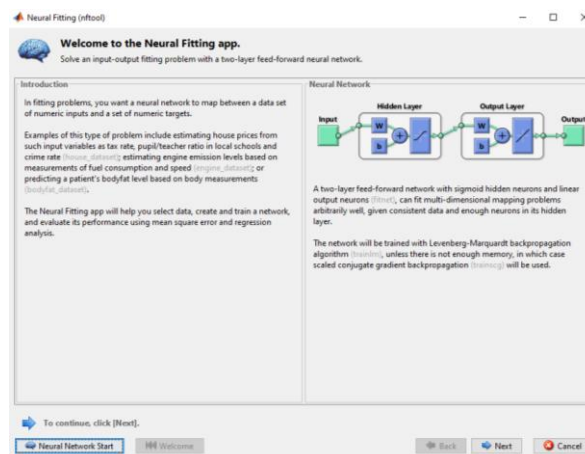
Al momento que se ejecutó el comando `nnstart`, se abrió una ventana como se puede ver en la figura 56-2, con varias opciones.



**Figura 56-2** Creación de la red neuronal  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

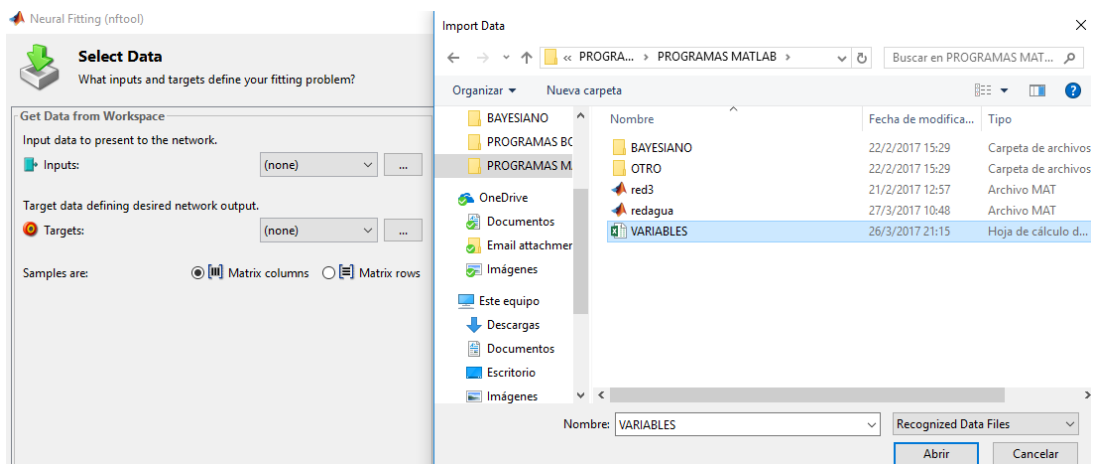
- input-output and curve fitting (Entrada-salida y ajuste de curvas)
- pattern recognition and classification (Reconocimiento y clasificación de patrones)
- clustering (Agrupación)
- dynamic time series (Series cronológicas dinámicas)

Se seleccionó la opción input-output and curve fitting (Entrada-salida y ajuste de curvas). Tal como se indica en la siguiente figura 57-2



**Figura 57-2** Tipo de red neuronal  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

Se pulsa la next(siguiente) para seleccionar la carpeta donde esta guardada la hoja de Excel, para poder ser definidas las variables de entradas y salidas.

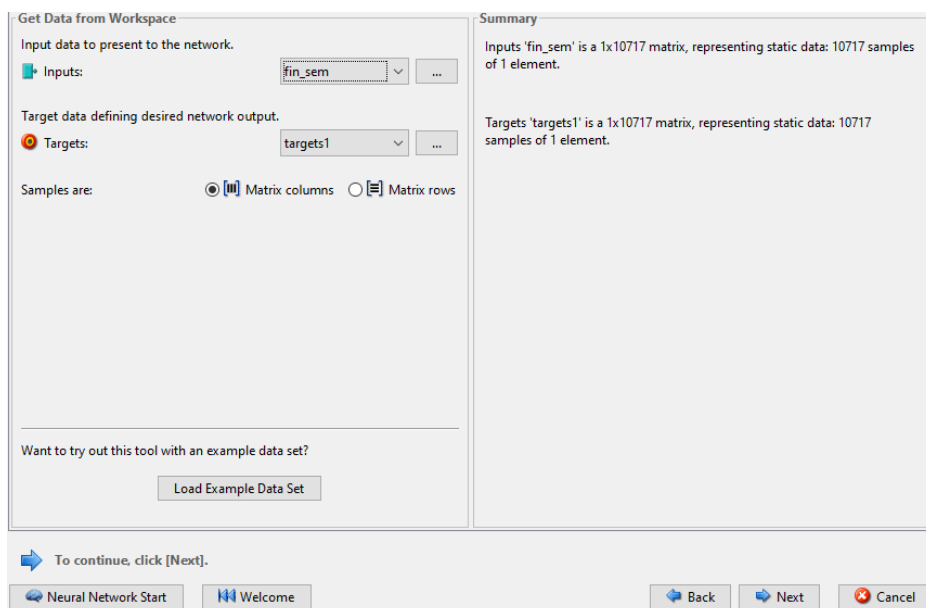


**Figura 58-2** Selección de la carpeta de los datos guardados  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

Luego de ser definidas las variables de entrada y salida, se puede observar las dimensiones de la matriz que consta de 10717 datos en una sola variable.

#### 2.5.2.1 Determinación de variable de entrada y salida

En la figura 59-2 se indica cómo se seleccionan las variables de entrada que están determinadas y la variable de salida que en este caso es la demanda utilizada que se va a utilizar para la red neuronal.

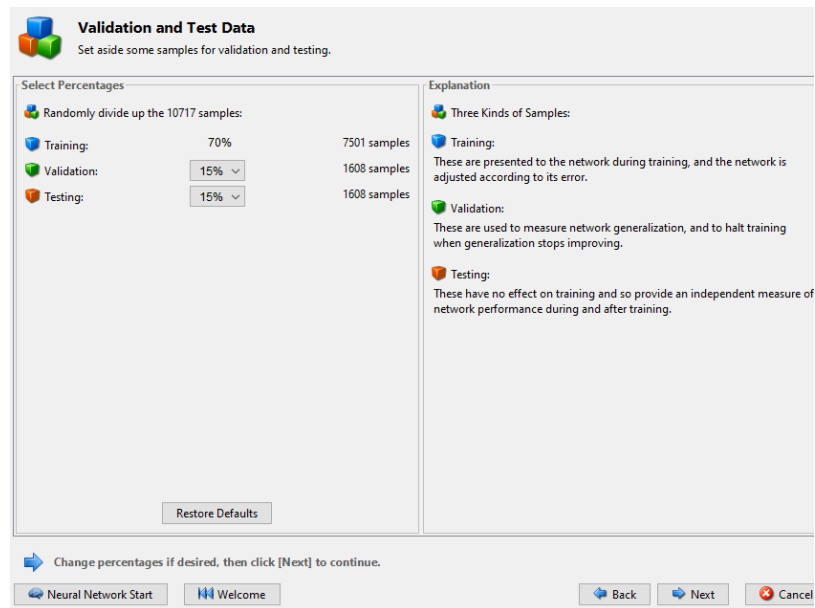


**Figura 59-2** Selección de la carpeta de los datos guardados  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.5.2.2 Porcentajes de datos de la red neuronal

Se determinan los porcentajes de los datos para el entrenamiento, validación y el test para la red neuronal. Tal cual se incide en la figura 60-2

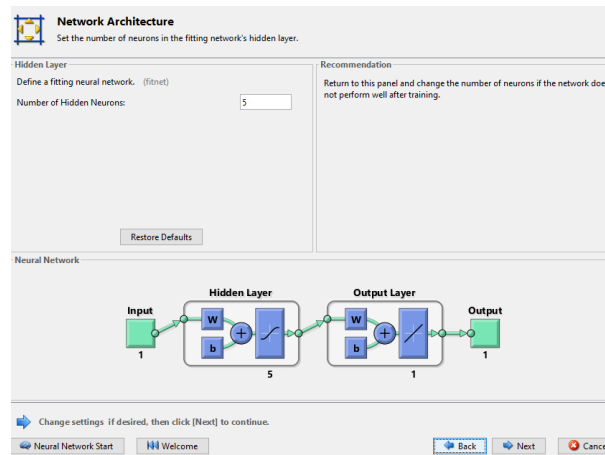
- Training. Con un 70% para el entrenamiento con 7501 datos
- Valadation. Con un 15% para la validación del entrenamiento con 1608 datos
- Testing. Con un 15% para la comprobación de resultados con 1608 datos.



**Figura 60-2** Porcentajes de entrenamiento, validación y test  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 2.5.2.3 Selección de capas ocultas

Configuración de las capas ocultas, para tener un mayor resultado de la red neuronal se utiliza el 75% de la cantidad de las variables de entradas, esto nos dio como resultado una cantidad de 5 capas ocultas. Como se puede demostrar en la figura 61-2



**Figura 61-2** Selección de las capas ocultas  
**Realizado por:** Coronel, Boris; 2017

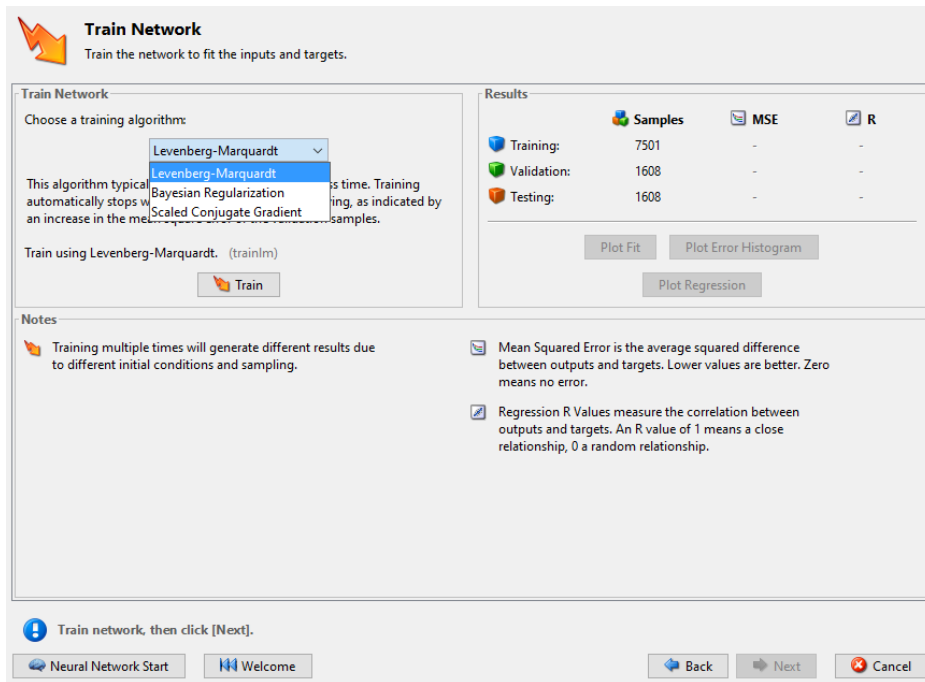
#### 2.5.2.4 Tipo de Entrenamiento

Como se puede observar en la figura 62-2, Matlab tienen tres tipos de algoritmos para el entrenamiento de una red neuronal.

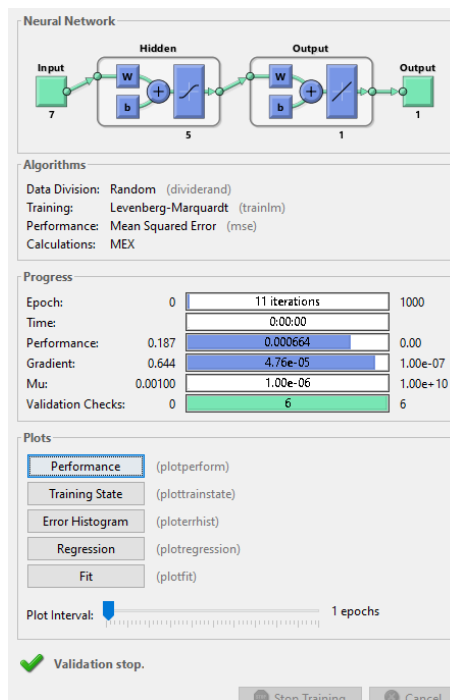
- Levenberg-Marquardt (trainlm): Permite la formación con vectores de validación y prueba si la propiedad de la red se establece en una función de división de datos, se usan para detener el entrenamiento temprano si el rendimiento de la red en los vectores de validación no mejora o permanece igual para las épocas en una fila, puede entrenar cualquier red siempre y cuando su peso, su entrada y sus funciones de transferencia tengan funciones derivadas.
- Bayesian Regularization (trainlm): Este comando bayesiano se deriva de un algoritmo de Levenberg-Marquardt, el rendimiento del entrenamiento se basa en un calco de una matriz Jacobiana con respecto a las variables de peso. Cada variable se ajusta de acuerdo con Levenberg-Marquardt,
- Scaled Conjugate Gradient (trainbr): Entrenar cualquier red siempre y cuando su peso, su entrada y sus funciones de transferencia tengan funciones derivadas.

Para este trabajo de titulación se utilizó en modo de entrenamiento Levenberg-Marquardt

En los tres tipos de entrenamiento para la red neuronal, se detienen cuando sucede los siguientes aspectos: Cuando se llega el número máximo de épocas (repeticiones). Cuando se excede la cantidad máxima de tiempo. El rendimiento se reduce al mínimo a la meta.



**Figura 62-2** Entrenamiento de la Red Neuronal  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

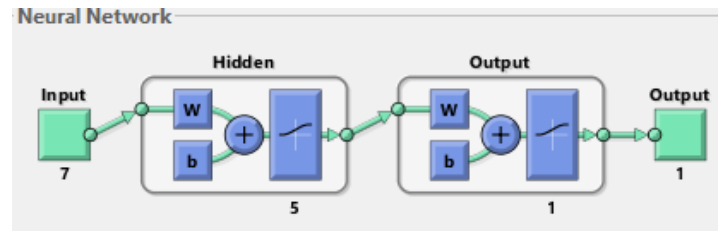


**Figura 63-2** Conformación de la red neuronal  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017



### 2.5.3 Cambio de función de transferencia

Los registros que se adquirieron en el proceso del monitoreo de la red trifásica del laboratorio de máquinas de la ESPOCH se obtuvieron datos positivos, con la codificación de los datos se dieron desde 0 a 1, por el cual se realizó un cambio en los límites de la función de transferencia, dando como una función tangente hiperbólica o también llamada logsig. Como se aprecia en la figura 64-2



**Figura 64-2** Cambio de función de transferencia

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

## CAPITULO III

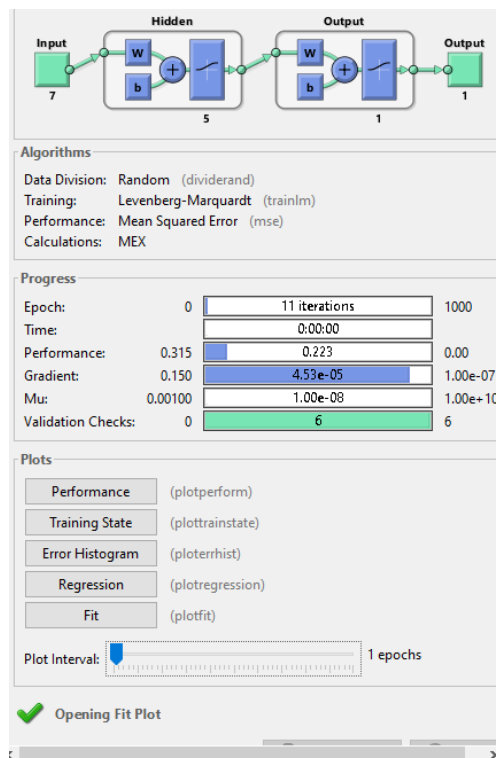
### 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Al finalizar con el monitoreo del sistema eléctrico, la programación de la adquisición con labVIEW y la creación de la red neuronal en Matlab.

Se procedió con el entrenamiento de la red y sus respectivos resultados para alcanzar y obtener los resultados planteados en este trabajo de titulación.

#### 3.1 Entrenamiento de la red neuronal.

Con el tipo de entrenamiento de red neuronal definió que se va a utilizar y hecho el cambio de transferencia se pudo obtener los siguientes resultados.

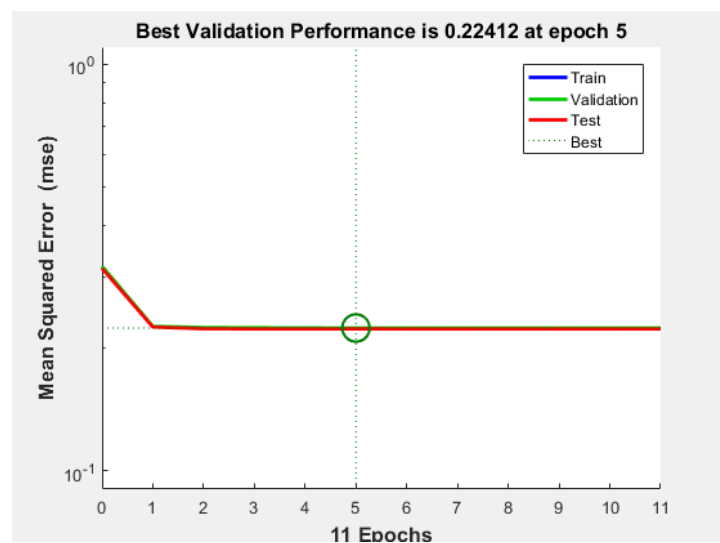


**Figura 1-3** Conformación de la red neuronal logsig  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.1.1 Desempeño de la red Neuronal

Con el entrenamiento Levenberg-Marquardt de la red neuronal se detuvo el error de validación aumentó durante 5 iteraciones, que ocurrieron en la iteración 11, errores de validación y errores de prueba, como se muestra en el siguiente gráfico.

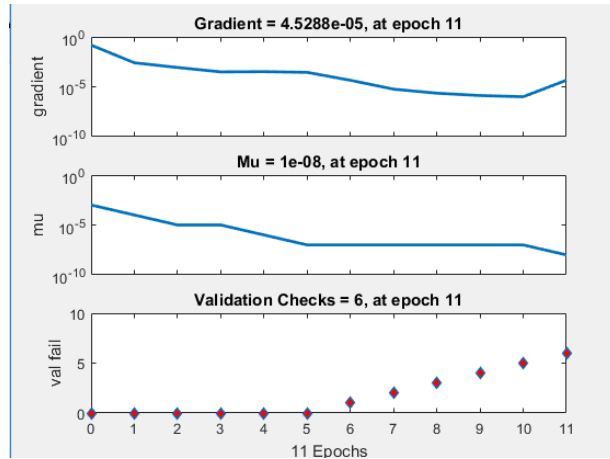
El error medio-cuadrado final, el error de conjunto de prueba y el error de conjunto de validación, no se produjo sobrecarga significativa por iteración 5, donde se produce el mejor rendimiento de validación.



**Gráfico 1-3** Entrenamiento de la red neuronal  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.1.2 Estado del entrenamiento

Muestra la variación en el coeficiente de gradiente con respecto al número de épocas. El valor final del coeficiente de gradiente en la época número 11 es 0,00004528, que es aproximado cercano a cero. Mínimo el valor del coeficiente de gradiente será mejor entrenamiento y prueba de redes. A partir de la figura puede verse que el valor del gradiente va disminuyendo con el aumento del número de épocas. El gráfico 2-3 muestra el entrenamiento de las ventanas de redes neuronales con dos capas ocultas para el entrenamiento. El número total de épocas utilizadas son 11. Otras cifras muestran los parámetros de tiempo, rendimiento, gradiente y verificación de validación utilizados para la formación y prueba de las redes neuronales avanzadas

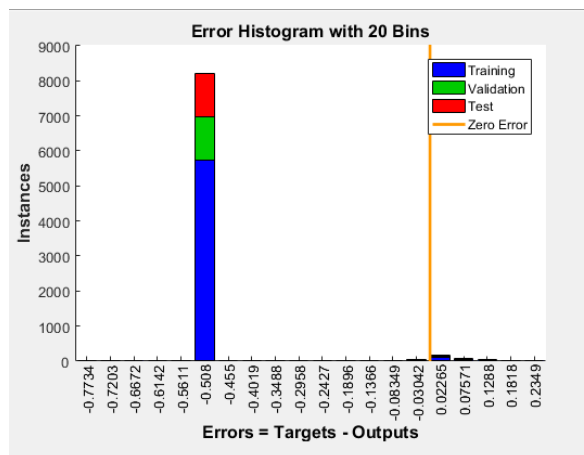


**Gráfico 2-3** Entrenamiento de la red neuronal  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.1.3 Histograma de errores

El histograma de errores se pudo obtener una verificación adicional del rendimiento de la red neuronal.

Las barras azules datos de entrenamiento, las barras verdes datos de validación, las barras rojas datos de prueba y la barra amarilla el cero del error. Son puntos de datos donde el ajuste es significativamente peor que la mayoría de los datos. En este trabajo los errores se encuentran entre -0.508 hasta 0.1288 donde, se puede observar que en el límite negativo esta concentra los errores en mayor cantidad de interacciones, mientras que en las metas de salidas del punto 0.03042 hasta 0.1288 tenemos los errores en una pequeña cantidad de interacciones y en el valor de 0.200 aproximadamente se encuentra en cero de los errores, como se puede observar en el gráfico 3-3.



**Gráfico 1Gráfico 3-3** Histograma de errores  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

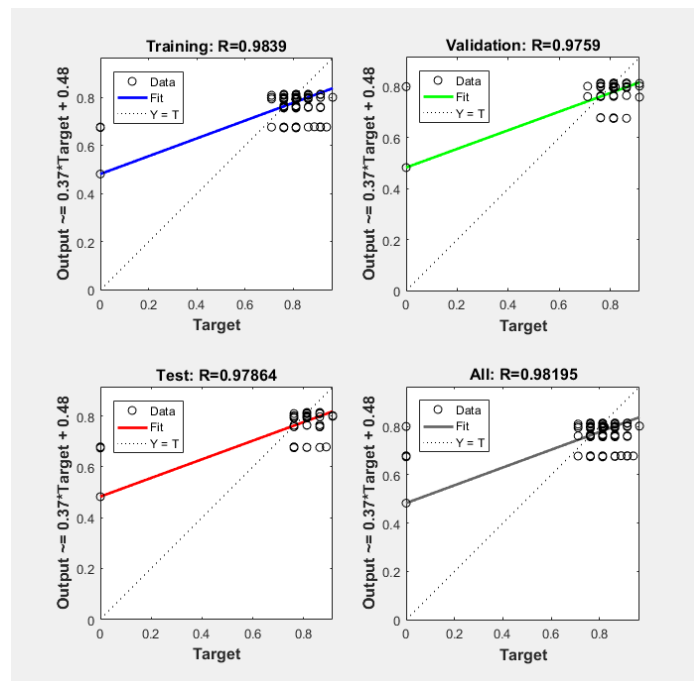
### 3.1.4 Análisis de regresión

Matlab realizó algunos análisis de la respuesta de los datos obtenidos de la red neuronal, se puede realizar una regresión lineal entre las salidas de la red neuronal y los datos correspondientes del sistema eléctrico.

La salida de los datos del sistema eléctrico está muy bien para el entrenamiento de la red neuronal, la prueba y la validación, y el valor-R es más de 0,97 para el resultado final de esta red neuronal.

- Restablezca los pesos y sesgos iniciales de la red a nuevos valores con `init` y `train` nuevamente (consulte "Inicializando pesos" (`init`)).
- Incrementa el número de neuronas ocultas.
- Incrementa el número de vectores de capacitación.
- Aumentar el número de valores de entrada, si hay otra variable para ser tomada en cuenta.

La respuesta de la red neuronal es satisfactoria como se puede indicar el grafico 4-3.



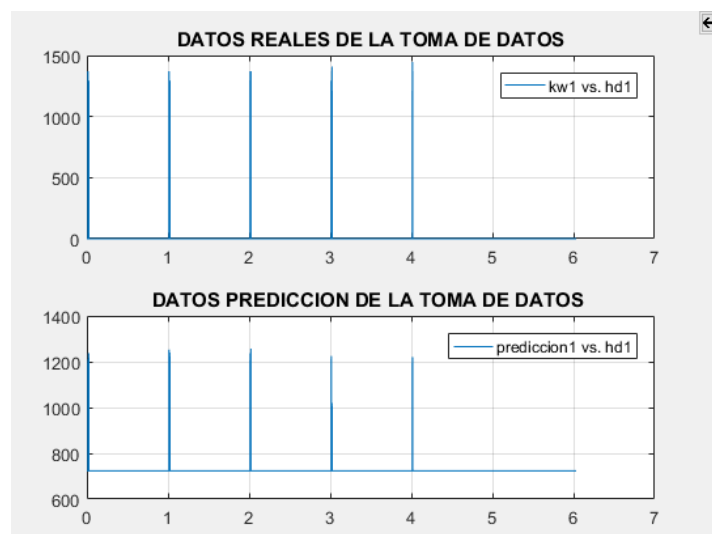
**Gráfico 4-3** Análisis de regresión

Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.2 Predicción de los datos del sistema eléctrico

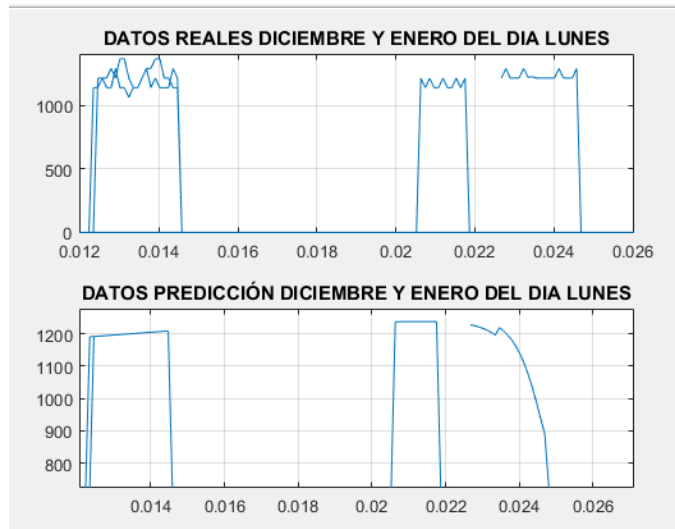
El objetivo final de este trabajo de titulación es predicción de la demanda que se utiliza semana y diaria en el laboratorio de máquinas eléctricas de la escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales aplicando inteligencia artificial.

En la gráfica 5-3 se muestra la demanda que se utiliza en el laboratorio de máquinas eléctricas en la parte del sistema trifásico en las semanas de los meses de diciembre y enero donde se utilizan los motores y las prácticas de la materia de laboratorio de máquinas eléctricas.

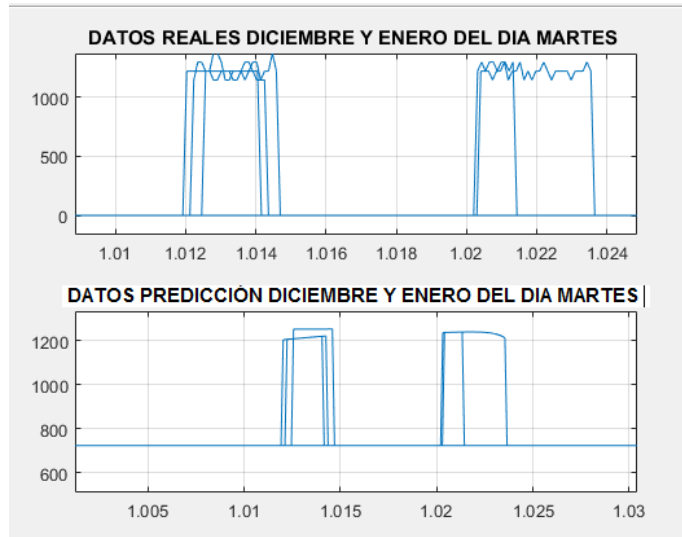


**Gráfico 5-3** Datos Reales y Predicción  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

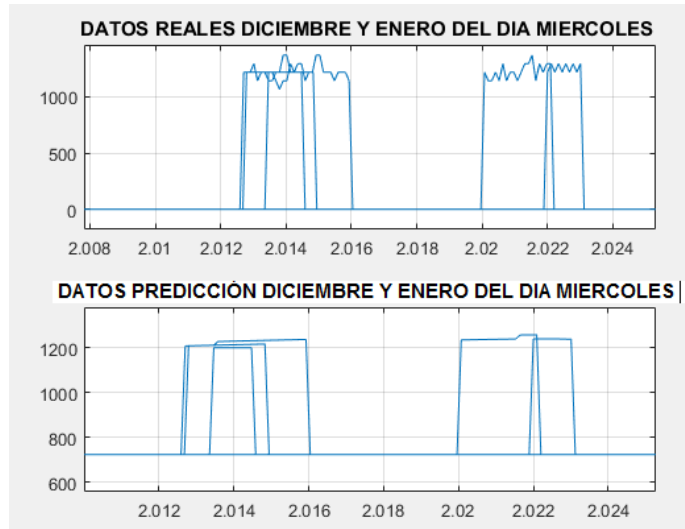
Como se indica en los siguientes gráficos se puede mostrar la demanda de los días de los meses de diciembre del 2016 a enero 2017 donde se ocupó el sistema trifásico del laboratorio.



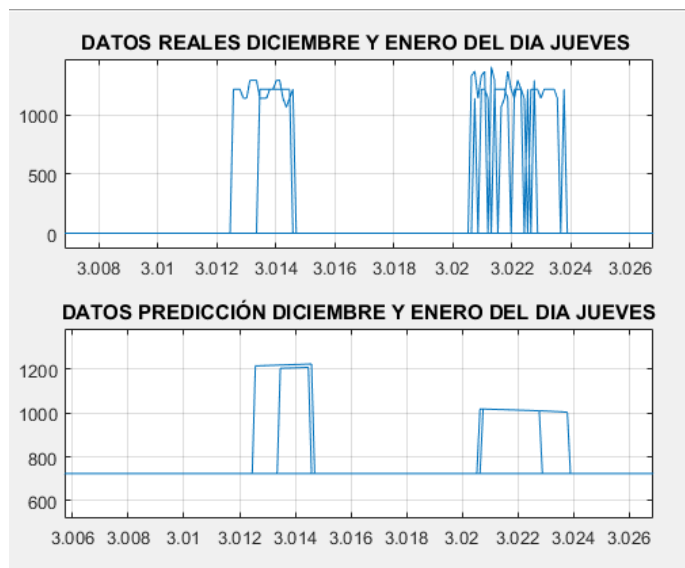
**Gráfico 6-3** Datos Reales y Predicción de los días lunes  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



**Gráfico 7-3** Datos Reales y Predicción de los días martes  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

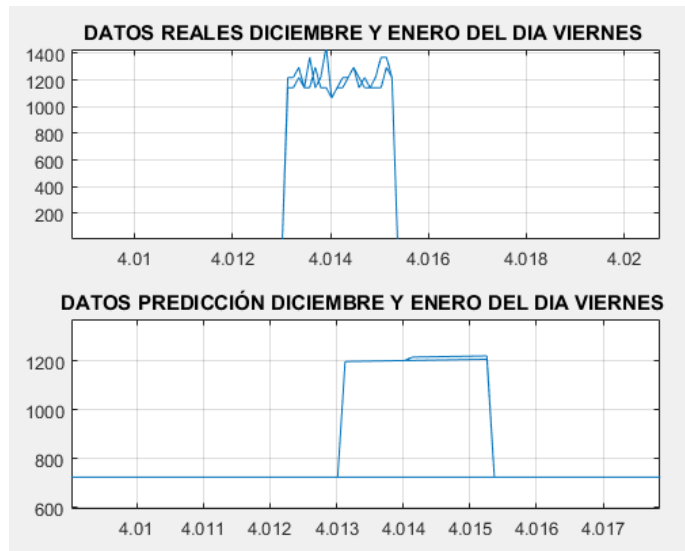


**Gráfico 8-3** Datos Reales y Predicción de los días miércoles  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



**Gráfico 9-3** Datos Reales y Predicción de los días jueves  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

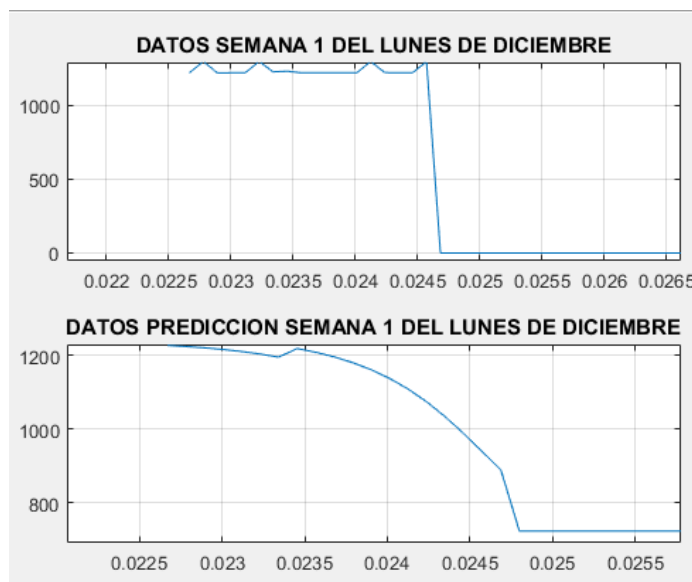




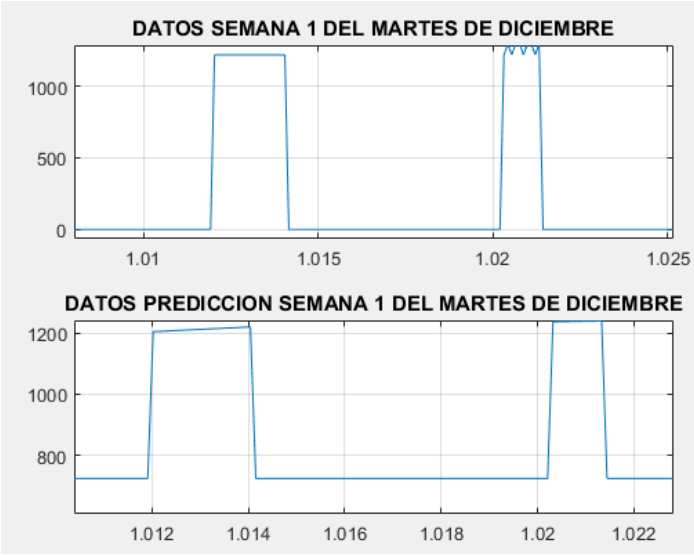
**Gráfico 10-3** Datos Reales y Predicción de los días viernes  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.2.1 Predicción de una semana en el sistema eléctrico

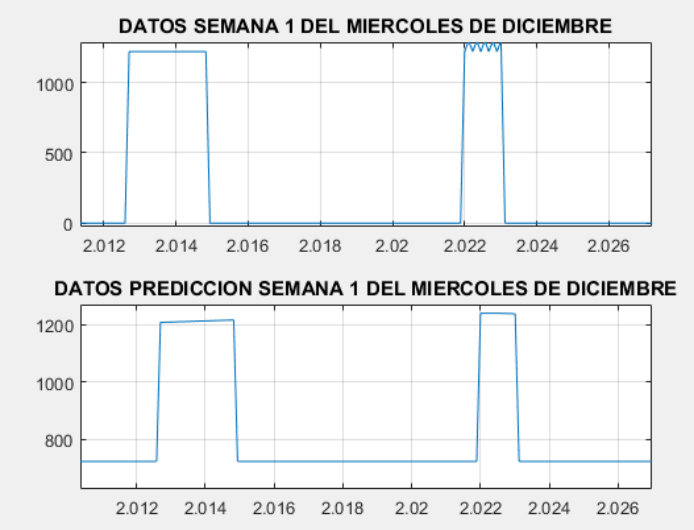
En las gráficas siguientes podemos ver cómo se comporta el sistema eléctrico día a día y la predicción que se puede dar, este comportamiento se debe al uso que se da al sistema eléctrico trifásico, de acuerdo a las materias que se dicta en este laboratorio.



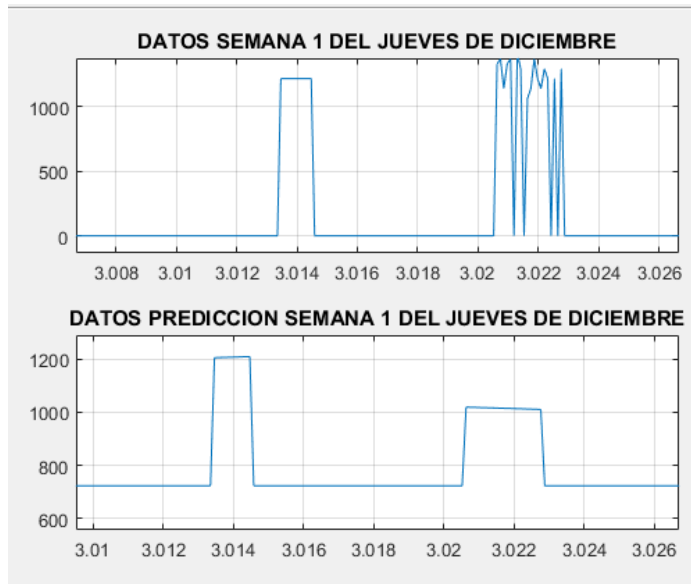
**Gráfico 11-3** Datos Reales y Predicción del día lunes  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



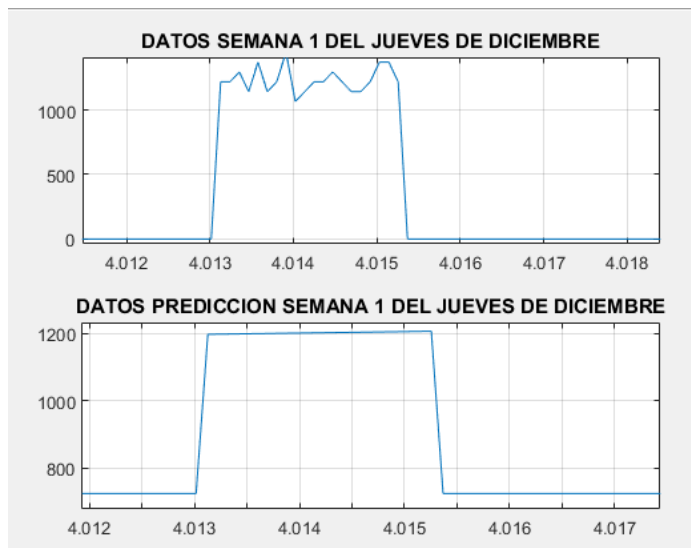
**Gráfico 12-3** Datos Reales y Predicción del día martes  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



**Gráfico 13-3** Datos Reales y Predicción del día miércoles  
 Realizado por: Coronel, Boris; 2017



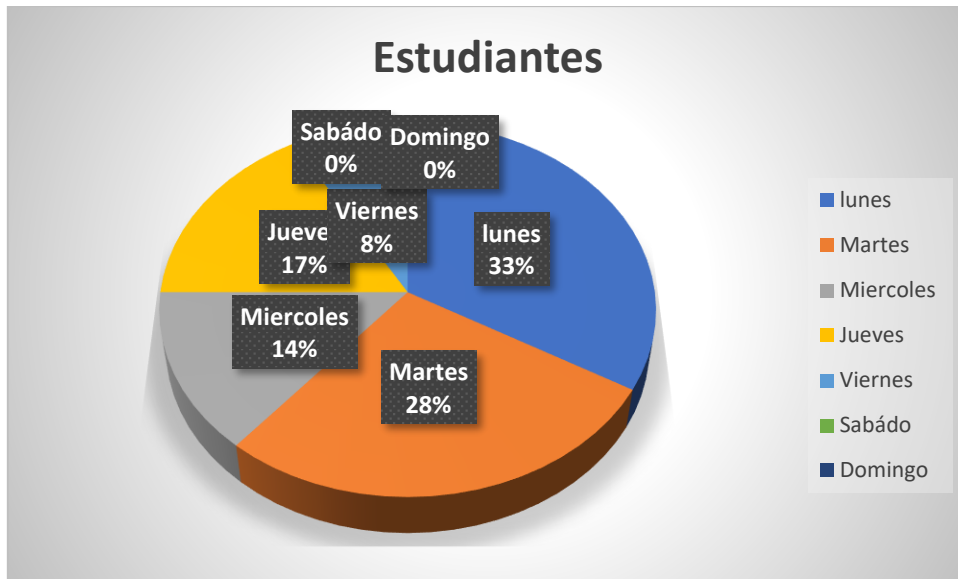
**Gráfico 14-3** Datos Reales y Predicción del día jueves  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017



**Gráfico 15-3** Datos Reales y Predicción del día viernes  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.2.2 *Porcentaje de consumo por semana*

En la gráfica 16-3 se puede observar los porcentajes de consumo que se dan en una semana de labores que se puede dar en el laboratorio de máquinas, los porcentajes están en función de los días de la semana, la cantidad de estudiante y el consumo por día.



**Gráfico 16-3** Porcentajes por consumo  
Realizado por: Coronel, Boris; 2017

### 3.3 Respuestas a las Interrogantes de la Formulación del Problema

**¿Qué métodos teóricos y técnicos se utilizan en el monitoreo y predicción de la red eléctrica?**

Para el monitoreo y la predicción de la red eléctrica se utilizó en lo teórico inteligencia artificial para lo cual se tuvo que investigar en una de sus áreas como las redes neuronales, en lo técnico se diseñó un programa en labVIEW para que se pueda obtener los datos de la red eléctrica monitoreada y para la predicción se diseñó la red neurona en MATLAB.

**¿Qué tipos de elementos se utilizarán en el monitoreo y predicción de datos?**

Los elementos que se utilizaron en el monitoreo y la predicción de datos, un dispositivo siemens Sentron PAC3100 para la obtención de los datos que generaba la red eléctrica en tiempo real, un conversor de comunicación RS485 a una comunicación RS232 para guarda los datos adquiridos en una hoja de Excel.

**¿Qué beneficios se obtendrán en el laboratorio de máquinas eléctrica con el monitoreo y predicción de datos de red eléctrica?**

El beneficio que se obtiene con el monitoreo y la predicción es saber la posible demanda que se puede generar o hasta donde pueda soportar el tablero eléctrico trifásico con cargas inductivas en una clase o práctica, para no llegar a una sobre carga de corriente en el breaker principal

## CONCLUSIONES

- En base a las variables usada para le red neuronal y el programa utilizado, se logró predecir la demanda de energía que ocupa en las clases dictadas en el laboratorio de máquinas eléctricas.
- El software Matlab y sus diversos comandos son adecuado para trabajar con inteligencia artificial, incluyendo la creación y entrenamiento de redes neuronales para distintas aplicaciones y trabajos específicos.
- El análisis de energía ejecutado en el laboratorio de máquinas determinó el comportamiento de energía, el cual no varía significativamente en el horario de uso.
- La implementación del sistema electrónico Sentron PAC3100 y el convertor de comunicación ejecuto la adquisición de los datos del sistema eléctrico trifásico, proporcionando los medios para la predicción de la demanda de energía por medio de la red neuronal.

## RECOMENDACIONES

- Aprender a reconocer las variables para ser utilizadas en la adquisición de dato de la red neuronal que determina las variables que el programa a utilizar.
- Investigar si las librerías y comandos que si son adecuados para la creación y entrenamiento de la red neuronal ejecutada en el programa.
- Aplicar en presente trabajo de titulación en una empresa o empresas que cuenten con distintos tipos de cargas trifásicas o monofásicas y así tener una mejor observación de la variación de energía.
- Cuando se trabaja con estos tipos de sistema eléctricos trifásicos tener en cuenta que el sistema eléctrico no esté energizado para hacer las respectivas conexiones a los equipos y proteger nuestra integridad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Colmenares, Gerardo.** Ventaja de las redes neuronales. Página de Gerardo Colmenares - Web del profesor - ULA. *Postgrado*. [En línea]  
[Consulta: 2 de octubre de 2016.]  
Disponible en: [www.webdelprofesor.ula.ve/economia/gcolmen/postgrado1.html](http://www.webdelprofesor.ula.ve/economia/gcolmen/postgrado1.html).
2. **Corona Nakamura , María Adriana y Ancona Valdez , María de los Ángeles.** *Diseño de Algoritmos y su codificación en Lenguaje C. (2a edición)*. México D.F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2011. Pp. 2-10.
3. **De Moya Anegón, Felix, Herrero Solana, Victor y Guerrero Bote, Vicente.** La aplicación de las Redes Neurales Artificiales (RNA): a la recuperación de información. 1998.
4. **DIECC-UNEC.** Portal de docencia UNEC. *Adenda Sistemas de transporte de nergía eléctrica*. [En línea] 2011.  
[Consulta: 25 de septiembre de 2016.]  
Disponible en: [http://www.ieec.uned.es/Web\\_docencia/inicio.asp](http://www.ieec.uned.es/Web_docencia/inicio.asp).
5. **Fernández Jorge, Casado Ma. Cristina.** *Manual Básico de Matlab*. Madrid : Complutense, 2009.
6. **Gómez Cumpa, José.** *Neurociencia Cognitiva y Educación. (2a edición)*. Chiclayo, Perú : Fondo editorial FACSHE, 2004.
7. **Guerra-Hernandez, Alejandro.** Inteligencia Artificial II: Conocimiento Razonamiento y Planeación. [En línea] 2013.  
[Consulta: 23 de septiembre de 2016.]  
Disponible en: <http://www.uv.mx/aguerra/>.
8. **Joyanes Aguilar, Luis.** *Programación en C Metodología, algoritmos y estructura de datos*. Madrid. McGraw-HILL/ Interamericana, 2000. Pp. 32-50.
9. **Ojeda, Luis Rodríguez.** *MATLAB Conceptos básicos y Programación Tutorial. (2a edición)*. Guayaquil-Ecuador : Instituto de Ciencias Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007. Pp. 2-14.
10. **Olabe , Xabier Bosogain.** Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU. *Curso Redes Neurales Artificiales y sus aplicaciones*. [En línea] 2012.  
[http://www.ciberesquina.una.edu.ve:8080/2014\\_2/350\\_E.pdf](http://www.ciberesquina.una.edu.ve:8080/2014_2/350_E.pdf).
11. **Ponce Cruz, Pedro.** *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería. (3a edición)*. México D.F. : Alfa Omega Grupo Editor, 2010.



**12. Russell, Stuart J y Norvig , Peter.** *Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. (2a edición).* Madrid (España) : Pearson Prentice Hall, 2004.

**13. Tablada , Carlos Javier y Torres, Germán Ariel.** Revista de educación matemática. *Redes Neurales Artificiales.* [En línea] 2009. Pp. 22-40.

[Consultado: 23 de septiembre de 2016.]

<http://revistas.unc.edu.ar/index.php/REM/ARTICLE/VIEW/10280>.

