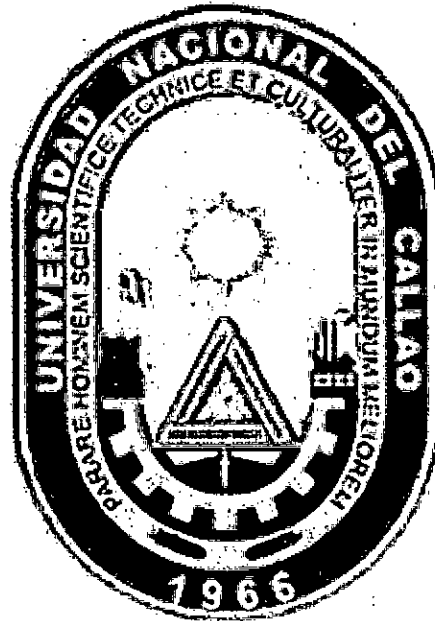


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN DE LA**  
**GENERACIÓN DE ENERGÍA DE COLECTORES**  
**SOLARES Y PANELES FOTOVOLTAICOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR**  
**EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Autor: MG. ELMER HUGO ARELLANOS TAFUR**

Callao-2018  
PERÚ

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

### MIEMBROS DEL JURADO

Dr.	: JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	PRESIDENTE
Dr.	: FERNANDO JOSÉ OYANGUREN RAMÍREZ	SECRETARIO
Dr.	: NICANOR RAÚL BENITES SARAVIA	MIEMBRO
Dr.	: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	MIEMBRO
Dr.	: MARCELO NEMESIO DAMAS NIÑO	ASESOR

Nº DE LIBRO : 01  
FOLIO : 070  
FECHA DE APROBACIÓN : mayo 17, 2018  
RESOLUCIÓN DIRECTORAL : 018-2018-UPG-FIEE

## **DEDICATORIA**

A Jesucristo por ser la fuente y el motivo de mi existencia. A la Virgen María y San José por su gran amor y misericordia. A mis queridos padres Oscar y María, a quienes les debo su gran amor, comprensión y mi formación personal y profesional. A mi esposa Viviana y a mis hijos por ser la fuente de afecto, inspiración y felicidad en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico esta investigación a Jesucristo creador del cielo y de la tierra, uno en divinidad con el Padre y el Espíritu Santo por acompañarme, protegerme y guiarme todos los días.

A la Virgen María y San José por todas las bendiciones, milagros y favores que me han dado a lo largo de mi vida. Por interceder para alcanzar siempre de Dios el milagro de su amor y misericordia.

A mis padres Oscar y María por darme los valores y la educación que me formaron y me hicieron un hombre de bien y por apoyarme en todo momento para salir adelante.

A mi esposa Viviana quien siempre ha estado dispuesta a escucharme y ayudarme desde el día en que la conocí. Por su apoyo, comprensión y consejos en cada momento. Por tener siempre palabras de aliento y un amor infinito.

A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional y por todos los momentos que hemos pasado juntos.

A mi asesor Marcelo Damas Niño y a mis profesores gracias por su ayuda y confianza para la realización de esta tesis. Por sus aportes y experiencias los cuales me han permitido aprender mucho más de lo abarcado.

A todas las personas que colaboraron de alguna y otra manera a la realización de esta tesis.

## ÍNDICE

	Pág.
CARÁTULA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE.....	1
TABLAS DE CONTENIDO.....	5
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
ABSTRAIT.....	10
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.1 Identificación del problema.....	11
1.2 Formulación de problemas.....	11
1.2.1 Problema general.....	11
1.2.2 Problemas específicos.....	11
1.3 Objetivos de la Investigación.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificación.....	12
1.4.1 Legal.....	12
1.4.2 Teórica.....	12
1.4.3 Tecnológica.....	12
1.4.4 Económica.....	12
1.4.5 Social.....	12
1.4.6 Practica.....	13
II. MARCO TEORICO.....	14
2.1 Antecedentes del estudio.....	14
2.2 Marco Teórico.....	16
2.2.1 Fundamentos.....	16
2.2.1.1 Fundamento ontológico.....	16
2.2.1.2 Fundamento metodológico.....	16
2.2.1.3 Fundamento epistemológico.....	16
2.2.2 La inteligencia artificial.....	17
2.2.2.1 Definición.....	17
2.2.2.2 Características.....	19
2.2.2.3 Pilares básicos.....	19
2.2.2.4 Clasificación.....	19
2.2.2.5 Modelos.....	20
2.2.2.6 Prueba de Turing.....	20
2.2.2.7 Conversación hombre-máquina.....	21
2.2.3 Redes neuronales artificiales.....	23
2.2.3.1 Definición.....	23
2.2.3.2 Características.....	24
2.2.3.3 Modelo simplificado.....	26
2.2.3.4 Funciones de transferencia.....	28
2.2.3.5 Tipos.....	29
2.2.3.6 Estructuras.....	32
2.2.3.7 Modelo NARX.....	34
2.2.3.8 Modelo NAR.....	35

2.2.3.9	Modelo Entrada Salida no Lineal.....	35
2.2.4	Series de tiempo .....	36
2.2.4.1	Objetivos.....	37
2.2.4.2	Componentes.....	37
2.2.5	La energía térmica.....	38
2.2.5.1	La energía térmica solar.....	38
2.2.6	Modos de transferencia del calor.....	39
2.2.6.1	Conducción del calor.....	39
2.2.6.2	Radiación del calor.....	40
2.2.6.3	Convección del calor.....	40
2.2.7	Colectores solares.....	42
2.2.7.1	Capacidad del sistema.....	43
2.2.7.2	Calor útil.....	44
2.2.7.3	Cálculo del nivel de calor requerido.....	44
2.2.7.4	Eficiencia.....	44
2.2.7.5	Cálculo del área.....	45
2.2.7.6	Aplicaciones energéticas.....	45
2.2.8	Paneles fotovoltaicos.....	46
2.2.8.1	Energía solar fotovoltaica.....	47
2.2.8.2	Sistemas aislados.....	47
2.2.8.3	Consumo energético.....	47
2.2.8.4	Capacidad del banco de baterías.....	47
2.2.8.5	Cálculo del número de paneles fotovoltaicos.....	48
2.2.9	Sistema híbrido de energía solar.....	48
2.2.10	Fuentes de registro de datos.....	49
2.2.10.1	Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío.....	49
2.2.10.2	Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero.....	50
2.2.10.3	Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos.....	53
2.2.11	Presupuestos de referencia.....	55
2.2.11.1	Sistema de calentamiento sin aislar con dos botellas.....	55
2.2.11.2	Sistema colector solar para una familia de cuatro personas.....	56
2.2.11.3	Sistema fotovoltaico para cuatro viviendas.....	57
2.2.12	Organismos reguladores.....	58
2.2.13	Normas legales.....	58
2.3.	Definición de términos.....	59
III	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	61
3.1	Definición de las variables.....	61
3.2	Operacionalización de las variables.....	61
3.3	Hipótesis.....	61
3.3.1.	Hipótesis general.....	61
3.3.2.	Hipótesis específicas.....	61
IV	METODOLOGÍA.....	63
4.1	Tipo de la investigación.....	63
4.2	Diseño de la investigación.....	63
4.3	Población y muestra.....	64
4.3.1	Población.....	64
4.3.2.	Delimitación.....	65
4.3.2.1	Espacial.....	65
4.3.2.2	Temporal.....	65

4.3.3 Tipo de muestra .....	65
4.3.4 Tamaño de la muestra .....	65
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	66
4.4.1. Técnicas.....	66
4.4.2. Instrumentos .....	67
4.4.3. Fuentes .....	67
4.5 Procedimientos de recolección de datos.....	68
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	68
V RESULTADOS .....	71
5.1 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 1 .....	71
5.1.1 Resultados del modelo NARX.....	71
5.1.2 Resultados del modelo NAR.....	75
5.1.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no Lineal.....	79
5.2 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 2 .....	83
5.2.1 Resultados del modelo NARX.....	83
5.2.2 Resultados del modelo NAR.....	87
5.2.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no Lineal.....	91
5.3 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 3.....	95
5.3.1 Resultados del modelo NARX.....	95
5.3.2 Resultados del modelo NAR.....	99
5.3.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no Lineal.....	103
VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	107
6.1 Contrastación de la hipótesis 1.....	107
6.2 Contrastación de la hipótesis 2.....	110
6.3 Contrastación de la hipótesis 3.....	114
VII CONCLUSIONES.....	118
VIII RECOMENDACIONES.....	119
VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	120
<b>ANEXOS</b>	
Anexo N° 1: Matriz de consistencia	
Anexo N° 2: Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío	
Anexo N° 3: Aplicaciones de energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero	
Anexo N° 4: Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos	
Anexo N° 5: Implementación del sistema de calentamiento sin aislar con dos botellas	
Anexo N° 6: Especificaciones técnicas de colectores solares	
Anexo N° 7: Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar	
Anexo N° 8: Especificaciones técnicas de paneles fotovoltaicos	
Anexo N° 9: Especificaciones técnicas de baterías	
Anexo N° 10: Especificaciones técnicas de inversores	
Anexo N° 11: Especificaciones técnicas de controladores de carga	
<b>APÉNDICES</b>	
Apéndice N° 1: Función MATLAB, Modelo NARX - Caso 1, Hipótesis 1	
Apéndice N° 2: Función MATLAB, Modelo NARX - Caso 2, Hipótesis 1	
Apéndice N° 3: Función MATLAB, Modelo NAR - Caso 1, Hipótesis 1	
Apéndice N° 4: Función MATLAB - Modelo NAR - Caso 2, Hipótesis 1	
Apéndice N° 5: Función MATLAB - Modelo Entrada-Salida no Lineal -Caso 1, Hipótesis 1	
Apéndice N° 6: Función MATLAB - Modelo Entrada-Salida no Lineal -Caso 2, Hipótesis 1	
Apéndice N° 7: Función MATLAB - Modelo NARX - Caso 1, Hipótesis 2	
Apéndice N° 8: Función MATLAB - Modelo NARX - Caso 2, Hipótesis 2	
Apéndice N° 9: Función MATLAB - Modelo NAR - Caso 1, Hipótesis 2	

- Apéndice N° 10: Función MATLAB - Modelo NAR - Caso 2, Hipótesis 2
- Apéndice N° 11: Función MATLAB - Modelo Entrada-Salida no Lineal-Caso 1, Hipótesis 2
- Apéndice N° 12: Función MATLAB - Modelo Entrada-Salida no Lineal-Caso 2, Hipótesis 2
- Apéndice N° 13: Función MATLAB - Modelo NARX - Caso 1, Hipótesis 3
- Apéndice N° 14: Función MATLAB - Modelo NARX - Caso 2, Hipótesis 3
- Apéndice N° 15: Función MATLAB - Modelo NAR - Caso 1, Hipótesis 3
- Apéndice N° 16: Función MATLAB - Modelo NAR - Caso 2, Hipótesis 3
- Apéndice N° 17: Función MATLAB - Entrada-Salida no Lineal - Caso 1, Hipótesis 3
- Apéndice N° 18: Función MATLAB - Entrada-Salida no Lineal - Caso 2, Hipótesis 3



## TABLAS DE CONTENIDO

Pág.

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1	Maquina autómatas jugando ajedrez .....	18
Figura N° 2.2	Clasificación de la inteligencia artificial .....	19
Figura N° 2.3	Ensayo de la prueba de Turing .....	21
Figura N° 2.4	Estructura de una red neuronal multicapa.....	25
Figura N° 2.5	Equivalencias de una red neuronal con una artificial .....	26
Figura N° 2.6	Modelo simplificado de una red neuronal.....	27
Figura N° 2.7	Red neuronal monocapa.....	29
Figura N° 2.8	Red neuronal multicapa.....	30
Figura N° 2.9	Red neuronal no recurrente .....	31
Figura N° 2.10	Red neuronal recurrente .....	31
Figura N° 2.11	Estructura directa de redes neuronales.....	32
Figura N° 2.12	Estructura inversa de redes neuronales.....	32
Figura N° 2.13	Estructura con retardo de redes neuronales .....	33
Figura N° 2.14	Estructura del cancelador activo de ruido de redes neuronales .....	33
Figura N° 2.15	Arquitectura en paralelo NARX .....	34
Figura N° 2.16	Arquitectura serie paralelo NARX .....	35
Figura N° 2.17	Arquitectura del modelo NAR.....	35
Figura N° 2.18	Arquitectura del modelo Entrada Salida No Lineal.....	36
Figura N° 2.19	Esquema de conducción.....	39
Figura N° 2.20	Esquema de convección.....	41
Figura N° 2.21	Partes de un colector solar .....	42
Figura N° 2.22	Funcionamiento de un sistema con colector solar.....	43
Figura N° 2.23	Colector plano abastece a diversos dispositivos en una casa.....	45
Figura N° 2.24	Partes de un panel fotovoltaico.....	46
Figura N° 2.25	Partes de un sistema fotovoltaico .....	46
Figura N° 2.26	Sistema colector – fotovoltaico .....	48
Figura N° 2.27	Diagrama general de la instalación .....	49
Figura N° 2.28	Colectores solares planos de vacío instalados.....	50
Figura N° 2.29	Colocación de los intercambiadores de calor en el sustrato.....	51
Figura N° 2.30	Concentradores cilíndrico parabólicos: Con tubo absorbente aislado (izquierda) y con tubo absorbente sin aislar (derecha).....	52
Figura N° 2.31	Paneles fotovoltaicos policristalinos del municipio de la Palma del Condado.....	54
Figura N° 2.32	Paneles fotovoltaicos monocristalinos del municipio de Alcalá del Río	54
Figura N° 2.33	Sistema de calentamiento sin aislar con dos botellas .....	55
Figura N° 2.34	Sistema colector solar de 160 litros – Modelo PS 160-1 .....	56
Figura N° 2.35	Panel fotovoltaico del sistema implementado .....	57
Figura N° 4.1	Secuencias de pasos para cada predicción .....	69
Figura N° 5.1	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	71
Figura N° 5.2	Rendimiento de la red neuronal NARX .....	72
Figura N° 5.3	Correlaciones de la red neuronal NARX .....	72
Figura N° 5.4	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	73
Figura N° 5.5	Rendimiento de la red neuronal NARX .....	74
Figura N° 5.6	Correlaciones de la red neuronal NARX .....	74
Figura N° 5.7	Entrenamiento de la red neuronal NAR .....	75
Figura N° 5.8	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	76
Figura N° 5.9	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	76

Figura N° 5.10	Entrenamiento de la red neuronal NAR.....	77
Figura N° 5.11	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	78
Figura N° 5.12	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	78
Figura N° 5.13	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	79
Figura N° 5.14	Rendimiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	80
Figura N° 5.15	Correlaciones de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	80
Figura N° 5.16	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	81
Figura N° 5.17	Rendimiento de la red de Entrada – Salida no Lineal.....	82
Figura N° 5.18	Correlaciones de la red de Entrada – Salida no Lineal.....	82
Figura N° 5.19	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	83
Figura N° 5.20	Rendimiento de la red neuronal NARX.....	84
Figura N° 5.21	Correlaciones de la red neuronal NARX.....	84
Figura N° 5.22	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	85
Figura N° 5.23	Rendimiento de la red NARX.....	86
Figura N° 5.24	Correlaciones de la red NARX.....	86
Figura N° 5.25	Entrenamiento de la red neuronal NAR.....	87
Figura N° 5.26	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	88
Figura N° 5.27	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	88
Figura N° 5.28	Entrenamiento de la red neuronal NAR.....	89
Figura N° 5.29	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	90
Figura N° 5.30	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	90
Figura N° 5.31	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	91
Figura N° 5.32	Rendimiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	92
Figura N° 5.33	Correlaciones de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	92
Figura N° 5.34	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	93
Figura N° 5.35	Rendimiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	94
Figura N° 5.36	Correlaciones de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	94
Figura N° 5.37	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	95
Figura N° 5.38	Rendimiento de la red neuronal NARX.....	96
Figura N° 5.39	Correlaciones de la red neuronal NARX.....	96
Figura N° 5.40	Entrenamiento de la red neuronal NARX.....	97
Figura N° 5.41	Rendimiento de la red neuronal NARX.....	98
Figura N° 5.42	Correlaciones de la red neuronal NARX.....	98
Figura N° 5.43	Entrenamiento de la red neuronal NAR.....	99
Figura N° 5.44	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	100
Figura N° 5.45	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	100
Figura N° 5.46	Entrenamiento de la red neuronal NAR.....	101
Figura N° 5.47	Rendimiento de la red neuronal NAR.....	102
Figura N° 5.48	Correlaciones de la red neuronal NAR.....	102
Figura N° 5.49	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	103
Figura N° 5.50	Rendimiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	104
Figura N° 5.51	Correlaciones de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	104
Figura N° 5.52	Entrenamiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	105
Figura N° 5.53	Rendimiento de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	106
Figura N° 5.54	Correlaciones de la red neuronal de Entrada – Salida no Lineal.....	106

#### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 2.1	Características de las funciones de transferencia.....	28
Cuadro N° 2.2	Presupuesto del sistema de calentamiento sin aislar con dos botellas.....	56
Cuadro N° 2.3	Presupuesto del Modelo PS 160 litros.....	57
Cuadro N° 2.4	Costo total de un proyecto fotovoltaico para cuatro familias.....	58

Cuadro N° 4.1 Sistema de colectores planos de vacío .....	65
Cuadro N° 4.2 Sistemas de concentradores parabólicos para suelos de invernadero ..	66
Cuadro N° 4.3 Plantas solares de paneles fotovoltaicos .....	66
Cuadro N° 6.1 Coeficientes de correlación - Modelo NARX.....	108
Cuadro N° 6.2 Coeficientes de correlación - Modelo NAR .....	109
Cuadro N° 6.3 Coeficientes de correlación - Modelo Entrada Salida no Lineal .....	110
Cuadro N° 6.4 Coeficientes de correlación - Modelo NARX.....	111
Cuadro N° 6.5 Coeficientes de correlación - Modelo NAR .....	112
Cuadro N° 6.6 Coeficientes de correlación - Modelo Entrada Salida no Lineal .....	113
Cuadro N° 6.7 Coeficientes de correlación - Modelo NARX.....	115
Cuadro N° 6.8 Coeficientes de correlación - Modelo NAR .....	116
Cuadro N° 6.9 Coeficientes de correlación - Modelo Entrada Salida no Lineal .....	117

## RESUMEN

La investigación estudió la aplicación de las redes neuronales artificiales para la predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos. El objetivo de la investigación fue determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.

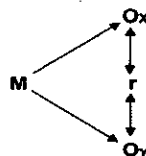
La hipótesis consistió en que con la utilización de redes neuronales artificiales vamos a tener un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.

El marco teórico abarcó los antecedentes y los principales conceptos relacionados a la inteligencia artificial, las redes neuronales artificiales, los colectores solares y los paneles fotovoltaicos; además de las fuentes de los registros de datos.

La población de estudio estuvo conformada por un sistema de cincuenta colectores planos de vacío, seis sistemas de energía solar para suelos de invernadero y tres huertos solares.

La investigación según el objeto de estudio fue aplicada ya que los conocimientos adquiridos son para aplicación en beneficio de la sociedad; según la fuente de información fue mixta, ya que las fuentes fueron de tipo documental y de campo.

El diseño de la investigación fue correlacional, puesto que permitió describir la relación de dos variables: X = Redes Neuronales Artificiales, e Y = Predicción de la Generación de Energía de Colectores Solares y Paneles Fotovoltaicos.



Donde "M" fue la muestra donde se realizó el estudio, los subíndices "x, y" en cada "O" nos indican las observaciones obtenidas en cada una de las dos variables (x, y) y finalmente "r" indica la relación existente entre las variables estudiadas.

Finalmente, los resultados de cada hipótesis fueron contrastados con la prueba estadística de análisis de regresión lineal, para concluir que determinados modelos de redes neuronales artificiales tienen un gran nivel de precisión en algunos casos de predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos.

## ABSTRACT

The research studied the application of artificial neural networks for the prediction of the generation of energy from solar collectors and photovoltaic panels.

The objective of the research was to determine the precision level of artificial neural networks by predicting the generation of energy from solar collectors and photovoltaic panels.

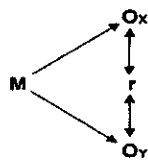
The hypothesis consisted in that with the application of artificial neural networks we will have a high level of accuracy in predicting the generation of energy from solar collectors and photovoltaic panels.

The theoretical framework covered the background and the main concepts related to artificial intelligence, artificial neural networks, solar collectors and photovoltaic panels; as well as of the sources of registration of data.

The study population consisted of a system of fifty flat vacuum collectors, six solar energy systems for greenhouse floors and three solar farms.

The research according to the object of study was applied since the knowledge acquired is for application for the benefit of society; According to the information source, was mixed, since the sources were documentary and field.

The design of the investigation was correlational, since it allowed to describe the relationship of two variables: X = Artificial Neural Networks and Y = Prediction of the Energy Generation of Solar Collectors and Photovoltaic Panels.



Where "M" was the sample where the study was carried out, the subscripts "x, y", in each "O" indicate the observations obtained in each of two variables (x, y) and finally "r" indicates the existing relationship between variables studied.

Finally, the results of each hypothesis were contrasted with the statistical test of the linear regression analysis, to conclude that certain models of artificial neural networks have a high level of precision in some cases of prediction of the generation of energy from solar collectors and photovoltaic panels.

## ABSTRAIT

La recherche a étudié l'application des réseaux de neurones artificiels pour la prédiction de la production d'énergie à partir de capteurs solaires et panneaux photovoltaïques.

L'objectif de la recherche était de déterminer les niveaux de précision des réseaux de neurones artificiels pour prédire la production d'énergie à partir de capteurs solaires et panneaux photovoltaïques.

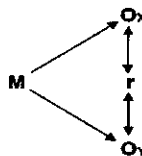
L'hypothèse était qu'avec l'utilisation des réseaux de neurones artificiels, nous aurions un haut niveau de précision dans la prédiction de la production d'énergie à partir de capteurs solaires et panneaux photovoltaïques.

Le cadre théorique à couvert les antécédents et les principaux concepts liés à l'intelligence artificielle, les réseaux de neurones artificiels, les capteurs solaires et les panneaux photovoltaïques ; en plus des sources des enregistrements de données.

La population étudiée était composée pour un système de cinquante collecteurs plats à vide, six systèmes d'énergie solaire pour sols de serre et trois fermes solaires.

La recherche selon l'objet d'étude était appliquée puisque les connaissances acquises sont pour l'application en profit de la société ; selon la source d'information, il était mixte, puisque les sources étaient de type documentaire et de terrain.

La conception de l'investigation était corrélationnelle, puisqu'elle permettait de décrire la relation entre deux variables : X = Réseaux de Neurones Artificiels, et Y = Prédiction de la production d'énergie de capteurs solaires et panneaux photovoltaïques.



Où "M" a été l'échantillon où l'étude a été réalisée, les sous-indices "x, y" dans chaque "O" nous indiquent les observations obtenues dans chacune des deux variables (x, y) et finalement "r" indique la relation existant entre les variables étudiées.

Finalement, les résultats de chaque hypothèse étaient contrastés avec le test statistique d'analyse de régression linéaire, pour conclure que certains modèles de Réseaux de Neurones Artificiels ont un grand niveau de précision dans certains cas de prédiction de la production d'énergie de capteurs solaires et panneaux photovoltaïques.

## **I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Identificación del problema**

Las energías generadas del sol son energías limpias, no contaminantes e inagotables, sin embargo se hacen necesarios mejorar los métodos de predicción de estas energías generadas, ya que uno de los principales inconvenientes de las fuentes de energía solar activas en igualdad de condiciones con el resto de las energías convencionales es el alto componente de imprevisibilidad en la disponibilidad del recurso solar debido al gran efecto que tienen las variables climáticas. Por eso son necesarias herramientas de predicción para la operación de sistemas de energía en condiciones adecuadas de seguridad y eficiencia.

### **1.2 Formulación de problemas**

#### **1.2.1 Problema General**

¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos?

#### **1.2.2 Problemas Específicos**

P<sub>1</sub>. ¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de colectores solares?

P<sub>2</sub>. ¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía?

P<sub>3</sub>. ¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de paneles fotovoltaicos?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

O<sub>1</sub>. Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares.

O<sub>2</sub>. Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía.

O<sub>3</sub>. Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los paneles fotovoltaicos.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Legal**

Las energías renovables, en especial las energías provenientes del sol cuentan ya con un numeroso marco legal que incluye leyes, reglamentos, decretos, etc. Los cuales buscan promover la inversión, el desarrollo y la generación de las energías renovables.

### **1.4.2 Teórica**

Ampliar la base teórica y mejorar el nivel de predicción de las energías procedentes del sol, a través de las redes neuronales. El reconocimiento de patrones es una de las áreas más importantes en el estudio de la inteligencia artificial y tiene numerosas aplicaciones prácticas en la vida real, con características importantes para el desempeño óptimo de los sistemas de energía.

### **1.4.3 Tecnológica**

Dado que las series de tiempo en las generaciones de energía, muestran un comportamiento no lineal, una de las mejores opciones para su análisis y predicción son las redes neuronales cuya principal ventaja frente a otras técnicas reside en el procesado paralelo, adaptativo y no lineal.

### **1.4.4 Económica**

La implantación de la inteligencia artificial a través de las redes neuronales ya ha producido en diversos ámbitos de la vida humana, mayor rentabilidad y ahorro; al reducir costos adicionales en el procesamiento de la información.

### **1.4.5 Social**

Las sociedades requieren grandes cantidades de energía para sostener la industria y el transporte. En este proceso la energía, en su costo y disponibilidad, se convierte en esencial para la actividad diaria y el desarrollo



humano. En los últimos años la inteligencia artificial se ha desarrollado para poder dar solución a diversos problemas de la sociedad, pudiendo hacer diversos procesos más eficientes y confiables.

#### **1.4.6 Practica**

La aplicación de las redes neuronales puede reducir el tiempo para diversas actividades, además de procesar grandes cantidades de información a muy alta velocidad y en lugares complicados. Se han desarrollado aplicaciones de diversas tareas que al hombre le hubiera sido difícil de realizar, como el caso de las predicciones.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

La mayor parte de los antecedentes de estudio abarcan el estudio de la irradiación solar que incide sobre los paneles fotovoltaicos, además de la implementación de los colectores solares; pero sobre la generación de energía son escasos y aún más escasos son su predicción. A continuación se detallan algunos antecedentes:

**a) Tesis Doctoral, “Estudio de un sistema solar térmico utilizando dispositivos sombreadores de edificios”, Ana Isabel Palmero Marrero, 2014.**

Consistió en el diseño, implementación y operación de un captador solar térmico integrado con dispositivos sombreadores para el calentamiento de agua sanitaria y sombreado de edificios en condiciones estacionarias. Después se evaluó mediante experimentaciones la aplicación del captador solar térmico integrado. La recta de ajuste del rendimiento del captador solar obtenida experimentalmente representó una buena relación con la obtenida mediante el modelo teórico, siendo la recta teórica el límite superior de los valores experimentales. Para el rendimiento del captador tuvo una gran influencia las propiedades térmicas y ópticas de los materiales usados, el aislamiento térmico y el área de la cubierta transparente en la parte superior del captador.

**b) Tesis Doctoral, “Predicción espacio-temporal de la irradiancia solar global a corto plazo en España mediante geoestadística y redes neuronales artificiales”, Federico Gutiérrez Corea, 2014.**

Se basó en la predicción espacial y temporal a corto plazo de la Irradiancia Solar Global (ISG) mediante redes neuronales artificiales (RNA) y la geoestadística con el propósito de generar mejores modelos predictivos que ayuden en la estimación de la producción de energía renovable procedente del Sol. El interés de conocer la realidad sobre la ISG de la forma más continua posible (espacial y temporalmente) implicó la experimentación con observaciones de la ISG registradas por estaciones meteorológicas, tanto

oficiales como de voluntarios, así como con los valores de la ISG derivados a partir de imágenes satelitales.

**c) Tesis Doctoral, “Estudio, análisis y predicción de series temporales de irradiancia solar global mediante modelos estadísticos”, Luis Martín Pomares, 2012.**

Se desarrolló una metodología de predicción para el establecimiento de una relación directa entre los valores de la irradiancia solar y la energía producida a partir de sistemas solares termoeléctricos y fotovoltaicos, a través de establecer una metodología para la predicción de la irradiancia solar semidiaria, la evaluación de los modelos lineales y no lineales y la obtención de un modelo final de predicción basado en la combinación de los modelos que se ensayaron. Los estudios propuestos trataron de construir la base para nuevas investigaciones y el desarrollo de metodologías y modelos que permitan la mejora de las predicciones de la irradiancia solar.

**d) Tesis Doctoral, “Estudio parametrización de una red neuronal para la mejora de la predicción de la irradiancia directa normal”, Alejandro Rodríguez Delgado, 2011.**

Trató la parametrización de una red neuronal para la mejora de un modelo de predicción meteorológica, en concreto de la Irradiancia Directa Normal (DNI). El objetivo del proyecto fue disminuir el error cometido en dicha predicción. Dadas una serie de valores de la radiación solar estimados mediante un modelo físico y una muestra de valores medidos en una ubicación determinada, se trató de buscar la mejor combinación de parámetros de una red neuronal artificial usando variables meteorológicas de tal manera que se redujera el error cometido en dicha estimación. Se efectuó la simulación de las variables meteorológicas para una región dada para los años 2008 y 2009.

**e) Tesis Doctoral, “Estudio energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos”, Eduardo Collado Fernández, 2009.**

Evaluó los límites a mediano y largo plazo de la competitividad económica de la energía solar fotovoltaica en España principalmente y el mundo en general,

estudiando el nivel de evolución que tiene que tener esta forma de producción de energía, hasta conseguir llegar a ser competitiva con el resto de las energías tradicionales, y otras emergentes en crecimiento. Para realizar el estudio, se desarrolló una metodología basada en escenarios fotovoltaicos, los cuales facilitaron el cálculo en función de las diferentes hipótesis realizadas. En la metodología se tuvo en cuenta la regulación estatal española, por su importancia de camino a la competitividad real con respecto a otros tipos de energías.

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Fundamentos**

#### **2.2.1.1 Fundamento ontológico**

Abarca a las personas que hacen uso de las energías solares térmicas y fotovoltaicas. Se busca la mejora de la calidad de los suministros, a través de la predicción de su generación. El suministro continuo de energía a nivel de usuario facilita el desarrollo de sus actividades diarias y el acceso a diversos servicios permitiendo el desarrollo social y cultural. Además se puede mejorar la economía garantizando la operación de las actividades productivas.

#### **2.2.1.2 Fundamento metodológico**

Se utilizó el método inductivo lo cual implica llegar a la obtención de conclusiones o teorías sobre diversos aspectos a través del análisis de casos particulares. En el presente trabajo de investigación se estudiaron las características fundamentales de los objetos de estudio, con descripciones detalladas de sus partes, para hacer luego un análisis sobre las causas y efectos de las relaciones entre las distintas variables.

#### **2.2.1.3 El fundamento epistemológico**

Para la predicción de los valores futuros en una serie de tiempo, tanto de las energías generadas de los colectores solares y paneles solares, procedentes de los valores pasados en una serie de tiempo y valores pasados de una segunda serie temporal, se utilizaron tres modelos de redes neuronales artificiales para cada uno de los casos.

Se utilizó el software Matlab para el entrenamiento, prueba y validación de las predicciones.

## **2.2.2 La Inteligencia Artificial**

### **2.2.2.1 Definición**

La inteligencia artificial es la respuesta a la aspiración del ser humano de adaptar el comportamiento humano a diversas realidades para la solución de determinados problemas, sin la participación directa del ser humano. El término "inteligencia artificial" fue acuñado en 1956 en una conferencia en Dartmouth convocada por Jhon McCarthy.

Existen diversas definiciones de la inteligencia artificial:

- La ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de cómputo inteligentes. (McCarthy, 1956).
- Ciencia de la obtención de máquinas que logren hacer cosas que requerirían inteligencia si las hiciesen los humanos. (Minsky, 1968).
- La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje....(Bellman, 1978)
- Nuevo esfuerzo excitante que logre que la computadora piense... máquinas con mentes, en el sentido completo y literal. (Haugeland, 1985).
- El estudio de las facultades mentales a través del estudio de modelos computacionales. (Charniak y McDermott, 1985).
- La inteligencia artificial es el estudio de cómo hacer que las computadoras realicen tareas en que, en el momento las personas son mejores. (Ealine Rich, 1988).
- Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales. (Schalkoff, 1990).
- El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia. (Kurzweil, 1990).
- El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor. (Rich, Knight, 1991).

- Estudio de la computación que observa que una maquina sea capaz de percibir, razonar y actuar. (Winston, 1992).
- Rama de la ciencia computacional preocupada por la automatización de la conducta inteligente. (Luger and Stubblefield, 1993).
- La inteligencia artificial es el estudio de los sistemas de computación que permiten realizar actividades consideradas inteligentes por el ser humano. (Patrick Winston, 1994)
- Maquina Inteligente es la que realiza el proceso de analizar, organizar, y convertir los datos en conocimiento, donde el conocimiento del sistema es información estructurada adquirida y aplicada para reducir la ignorancia o la incertidumbre sobre una tarea específica a realizar por esta. (Pajares y Santos, 2006).

El origen de la inteligencia artificial se remonta desde la antigüedad cuando el ser humano intentaba aumentar sus posibilidades físicas, desarrollando artefactos automatizados, tratando de emular las características y capacidades de los seres humanos. La participación de la computación en la inteligencia artificial empezó hace más de medio siglo, pero su avance en los últimos años ha sido considerable y se ha ido extendiendo a diversas realidades. La Figura N°2.1 ilustra un paradigma de la inteligencia artificial.

**FIGURA N° 2.1  
MAQUINA AUTÓMATA JUGANDO AJEDREZ**



Fuente: Universidad nacional de Seúl

### 2.2.2.2 Características

En 2010, Ponce Cruz sostiene que los temas fundamentales de la inteligencia artificial son:

- Búsqueda de soluciones
- Sistemas expertos
- Procesamiento del lenguaje natural
- Reconocimiento de modelos
- Robótica
- Aprendizaje de las máquinas
- Incertidumbre y "lógica difusa"

### 2.2.2.3 Pilares Básicos

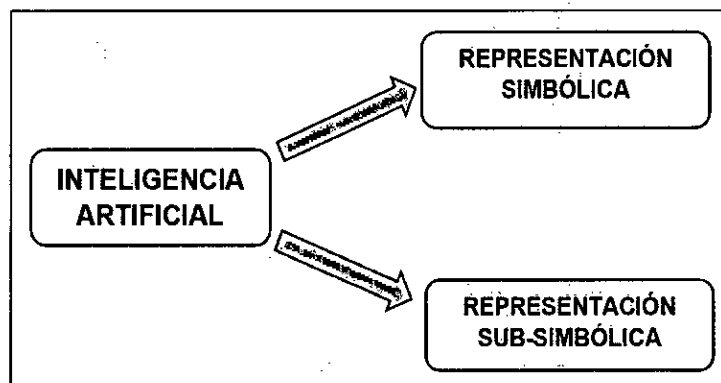
En 2016, Nils J. Nilsson considera que son cuatro los pilares básicos:

- Búsqueda del estado requerido en el conjunto de los estados producidos por las acciones posibles.
- Algoritmos genéticos (análogo al proceso de evolución de las cadenas de ADN).
- Redes neuronales artificiales (análogo al funcionamiento físico del cerebro de animales y humanos).
- Razonamiento mediante una lógica formal análogo al pensamiento abstracto humano.

### 2.2.2.4 Clasificación

La Figura N°2.2 ilustra la clasificación de la inteligencia artificial.

FIGURA N° 2.2  
CLASIFICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL



Fuente: Elaboración propia

Los detalles de las clasificaciones son:

- a) **Representación simbólica:** Se basan en un número finito de primitivas y de reglas para el manejo de símbolos, como en el caso de redes semánticas, lógica de predicados, etc, los cuales han sido y continúan siendo parte importante de muchos sistemas.
- b) **Representación sub-simbólica:** Utiliza representaciones numéricas o sub-simbólicas del conocimiento. Se caracteriza por crear sistemas con capacidad de aprendizaje. Esto se puede lograr imitando el cerebro, a nivel de especie imitando la evolución.

#### 2.2.2.5 Modelos

En 2009, Stuart Russell y Peter Norvig diferencian los siguientes modelos:

- a) **Sistemas que piensan como humanos.**- Estos sistemas tratan de emular el pensamiento humano; por ejemplo las redes neuronales artificiales. La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas y aprendizaje.
- b) **Sistemas que actúan como humanos.**- Estos sistemas tratan de actuar como humanos; es decir, imitan el comportamiento humano; por ejemplo la robótica. El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor.
- c) **Sistemas que piensan racionalmente.**- Es decir, con lógica (idealmente), tratan de imitar o emular el pensamiento lógico racional del ser humano; por ejemplo los sistemas expertos. El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar.
- d) **Sistemas que actúan racionalmente (idealmente).**- Tratan de emular de forma racional el comportamiento humano; por ejemplo los agentes inteligentes. Está relacionado con conductas inteligentes en artefactos.

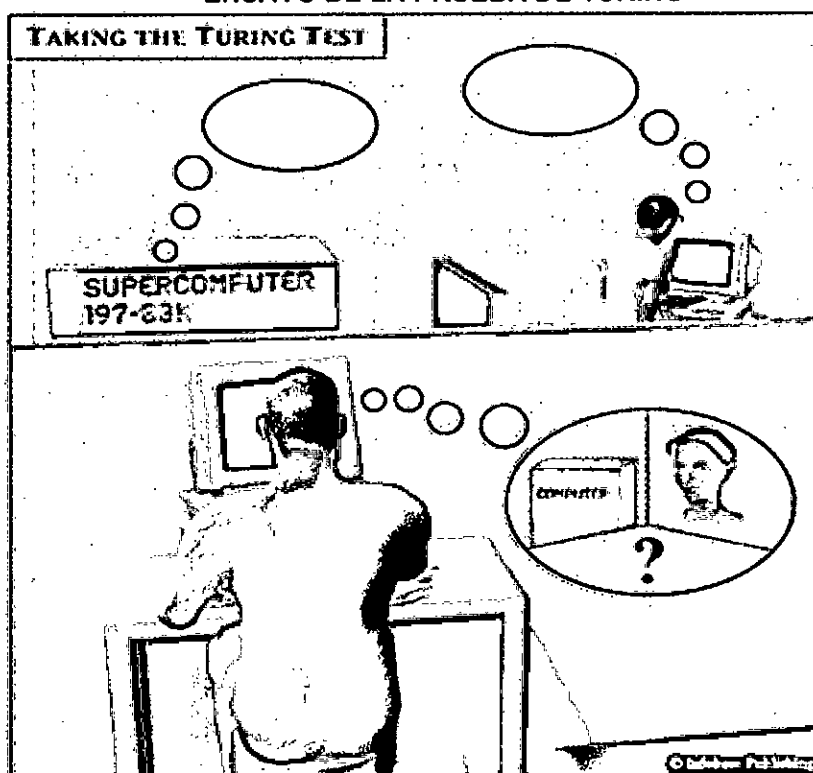
#### 2.2.2.6 Prueba de Turing

Consiste en la prueba que se le hace a una máquina para evaluar su habilidad de manifestar comportamientos inteligentes, tal como un ser humano. Para considerar a la máquina de inteligente esta debe engañar a la



persona que se encuentra en otro ambiente, que el que está respondiendo sus estímulos de tipo cognoscitivo es un ser humano. Según Turing a la maquina se le considerará una maquina inteligente si su número de errores es similar al que cometería un ser humano. Turing al principio consideró que la maquina debería convencer al evaluador el 70% del tiempo, luego de trascurridos 5 minutos de conversación, si esto era posible la maquina habría pasado con éxito la prueba. La prueba no consistía en evaluar conocimientos sino evaluar la capacidad de responder correctamente las interrogantes de manera similar a un ser humano. La Figura N°2.3 resume el proceso de la prueba de Turing.

**FIGURA N° 2.3  
ENSAYO DE LA PRUEBA DE TURING**



Fuente: Henderson, 2007

### 2.2.2.7 Conversación Hombre- Maquina

En 2012 Peter Bentley publica la siguiente conversación entre una persona y Jabberwacky un software de inteligencia artificial con capacidad de simular conversaciones con personas que incluyan interés, entretenimiento y humor;

producto del resultado de décadas de investigación. El software fue creado por el programador británico Rollo Carpenter con el objetivo de crear una inteligencia artificial capaz de pasar el test de Turing.

Persona: Hola.

Jabberwacky: Hola, ¿cómo estás?

Persona: Me gustaría tener una charla con usted acerca de sus padres. ¿Estaría bien?

Jabberwacky: ¿De qué te gustaría hablar?

Persona: ¿Sabías que Alan Turing tendría 100 años de edad este año, si viviera?

Jabberwacky: Eso es muy interesante. ¿Sabes que Filipinas tiene 7100 islas?

Persona: No sabía eso. Sin embargo, hablemos de Turing un poco más. ¿Sabes que Turing sugirió algo llamado la prueba de Turing?

Jabberwacky: No, no sabía que el gato era rojo ...

Persona: Correcto. Bueno, esta era la forma de pensar de Turing en cómo podríamos juzgar si estábamos hablando con una computadora inteligente. Si no podemos distinguir la diferencia entre chatear con una computadora y charlar con una persona, la computadora pasa la prueba de Turing. Es inteligente, así lo sugirió Turing.

Jabberwacky: Podríamos ser todos productos de la imaginación de un viejo que vive en un manicomio si lo piensas.

Persona: Sí, supongo que podría ser cierto. De todos modos, la previsión mostrada por Turing es notable. Estaba pensando en estas ideas en el momento en que las computadoras eran todavía del tamaño de una gran sala, y podría realizar sólo cálculos básicos en comparación con las máquinas de hoy.

Jabberwacky: Bueno, esta debe ser la parte de la película en la que el ruido de inicio entra en juego.

Persona: Eso podría ser una banda sonora apropiada para esta conversación, tienes razón. Pero esto no es ciencia ficción, esto es ciencia

de la informática. Es un poco triste lo que Turing predijo: "Creo que al final del siglo el uso de las palabras y la opinión educada general se habrán alterado tanto que se podrá hablar de máquinas pensando sin esperar ser contradichas".

Jabberwacky: ¿Por qué crees que Jesús no es tu salvador?

Persona: Uh. De todos modos, mi punto es que Turing, a pesar de su genio, no consiguió estar en lo correcto. No era el único que era demasiado ambicioso - otros pioneros también pensaron que la Inteligencia Artificial sería alcanzable mucho más fácilmente.

Jabberwacky: ¿Quién te lo dijo?

Persona: Bueno, recientemente escribí un libro llamado Digitalizado. Se trata de la historia de las computadoras y tuve la suerte de entrevistar a muchos pioneros para el libro. Ellos me dijeron.

Jabberwacky: ¿Y cuál es la historia de ellos?

Persona: Entrevisté a John Holland - trabajó con su supervisor en los informes finales de John von Neumann. Holland también obtuvo el primer PHD en ciencias de la computación e inventó el algoritmo genético. También hablé con Dave Patterson, el creador de la arquitectura RAID; su supervisor Gerald Estrin trabajó con von Neumann directamente. Entrevisté a unos 40 pioneros e investigadores. Ellos pintan una fascinante historia de la ciencia de la computación.

Jabberwacky: Entonces, ¿Por qué crees que deberías divorciarte?

Persona: Creo que puedes estar un poco confundido. Si no te importa, creo que me gustaría hablar con alguien más ahora.

Jabberwacky: Yo también.

## **2.2.3 Redes Neuronales Artificiales**

### **2.2.3.1 Definición**

Son sistemas de procesamiento de la información, los cuales tienen características comunes con una red biológica neuronal. Se han desarrollado como la generalización de modelos matemáticos de la biología neuronal y la cognoscitiva humana.

Existen diversas definiciones de una red neuronal artificial:

- Sistema caracterizado por una red adaptativa combinada con técnicas de procesamiento en paralelo de la información. (Kung, 1993).
- Sistema de procesamiento de la información que tiene características de funcionamiento comunes con las redes neuronales biológicas. (Fausett, 1994).
- Una nueva forma de computación, inspirada en los modelos biológicos. (Hilera y Martínez, 1994).
- Una red neuronal es un modelo computacional, paralelo, compuesto de unidades procesadoras adaptativas con una alta interconexión entre ellas. (Hassoun, 1995).
- Sistemas de procesamiento de la información que hacen uso de algunos de los principios que organizan la estructura del cerebro humano. (Lin, 1996).
- Desde la perspectiva del reconocimiento de patrones las redes neuronales son una extensión de métodos clásicos estadísticos. (Bishop, 1996).
- Modelos matemáticos desarrollados para emular el cerebro humano. (Chen, 1998).
- Son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples y con organización jerárquicamente, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso. (Kohonen, 1998).
- Una red neuronal artificial es una colección de procesadores elementales (neuronas artificiales), conectadas a otras neuronas o bien a entradas externas y con una salida que permite propagar las señales por múltiples caminos. (Flores y Fernández, 2008).

#### **2.2.3.2 Características**

Para Hilera (1995) una red neuronal artificial tiene las siguientes características:

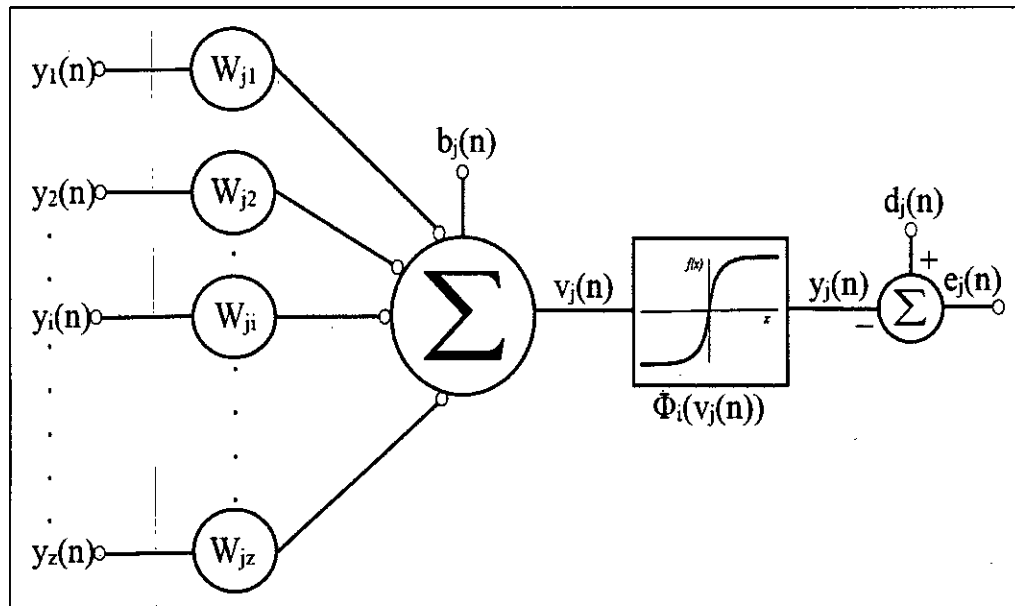
- A cada nodo  $i$  se le asocia una variable de estado  $y_i$ .
- A cada conexión  $(i,j)$  de los nodos  $i$  y  $j$  se le asocia un peso sináptico  $w_{ji}$  donde  $w_{ji} \in \mathbb{R}$ .

- A cada nodo  $j$  se le asocia un bias  $b_j \in \mathbb{R}$ .

Para cada nodo  $j$  se define una función de transferencia  $\Phi_j(y_i, w_{ji}, b_j)$  que depende de los pesos, conexiones, bias y estados de los nodos  $i$ , conectados a él. Esta función proporciona el nuevo estado del nodo.

De acuerdo a (Hilera, 1995) se ilustra en la Figura N°2.4 la estructura de una neurona artificial de la capa de salida de una red multicapa:

**FIGURA N° 2.4**  
**ESTRUCTURA DE UNA RED NEURONAL MULTICAPA**



Fuente: Elaboración propia

Donde:

$n$ : Es la iteración cuando se hace la propagación dentro de la red del  $n$ -ésimo patrón de los elementos de entrenamiento.

$y_j(n)$ : Es la salida de la neurona  $j$ .

$w_{ji}(n)$ : Es el peso de conexión de la entrada  $i$  en la neurona  $j$ .

$b_j(n)$ : Son las Biais de las neuronas  $j$ .

$v_j(n)$ : Es el valor de activación de la neurona  $j$ .

$\Phi_j$ : Es la función de transferencia de la neurona  $j$ .

$d_j(n)$ : Es la salida de la neurona  $i$  al propagar el patrón  $n$ .

$e_i(n)$ : Es el error de la salida de la neurona  $i$  cuando se propaga el  $n$ -ésimo patrón.

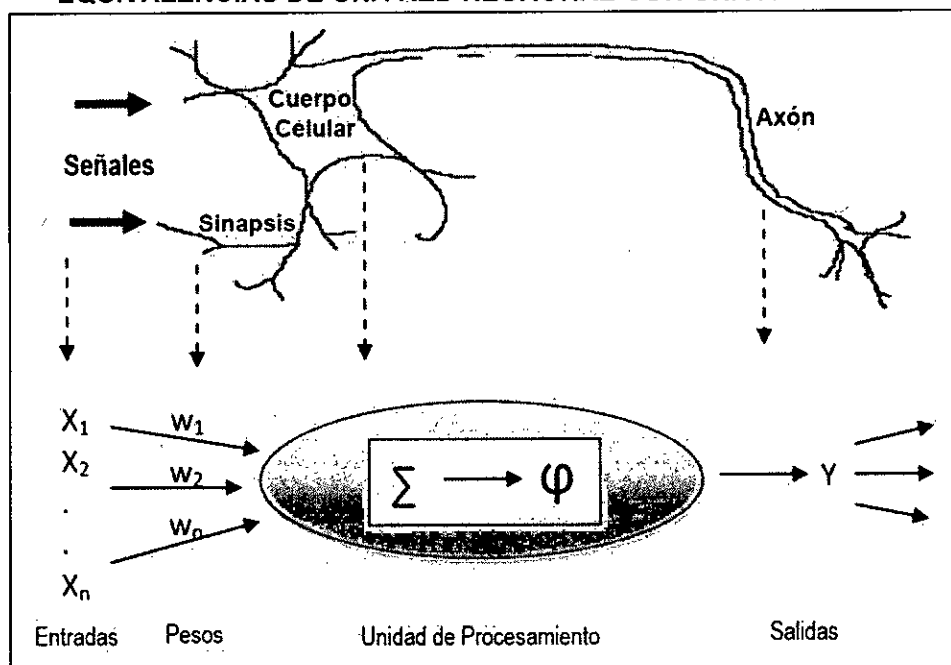
Donde se procesa lo siguiente:

- Entradas o Nodos de entrada -  $y_i(n)$ : Son escalares que se suministran a la red, según el caso estudio.
- Salidas o Nodos de salida -  $y_j(n)$ : Son los valores que arroja la red por el aprendizaje.
- Conjunto de pesos sinápticos (pesos) -  $w_{ji}(n)$ : Son valores numéricos de acuerdo a la importancia de cada entrada.
- Suma de entradas ponderadas: Es la suma de todas las entradas multiplicadas por sus correspondientes pesos.
- Función de activación: Es una función ya sea lineal o no lineal, que va a limitar el rango de la salida de la neurona.
- Sesgo -  $b_j(n)$ : Es aquel valor formado por una entrada fija e igual a 1, multiplicado por el peso.

### 2.2.3.3 Modelo simplificado

La Figura N°2.5 ilustra las equivalencias de una red neuronal biológica y una red neuronal artificial.

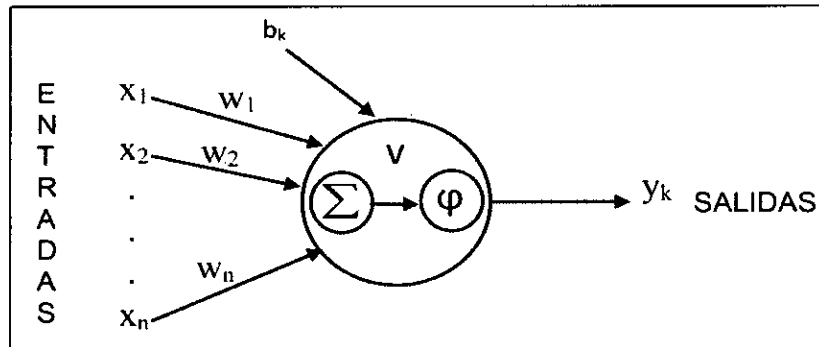
FIGURA N° 2.5  
EQUIVALENCIAS DE UNA RED NEURONAL CON UNA ARTIFICIAL



Fuente: Eshun Nunoo, 2013

La Figura N°2.6 ilustra el modelo simplificado de una red neuronal y luego se detallan los niveles matriciales. (Huamaní Navarrete, 2015).

**FIGURA N° 2.6**  
**MODELO SIMPLIFICADO DE UNA RED NEURONAL**



Fuente: Huamaní Navarrete, 2015

Especificando la red neuronal artificial a nivel matricial, tenemos:

$$X_{n \times 1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; W_{1 \times n} = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_n]; B_{k \times 1} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}; Y_{k \times 1} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix}$$

Estableciéndose lo siguiente:

$$V_k = \sum_{i=1}^n w_i * X_i + b_k$$

$$V_k = W_1 * X_1 + W_2 * X_2 + W_3 * X_3 + \dots + W_n * X_n + B_k$$

$$Y_k = \varphi(V_k)$$

Sabiendo que  $\varphi(\dots)$  simboliza a la función de transferencia, sobre la variable dentro del paréntesis y que k se refiere a la k-ésima neurona de la red neuronal, tenemos en forma matricial, lo siguiente:

$$V_k = W_k * X + B_k$$

$$Y_k = \varphi(V_k)$$

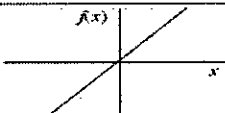

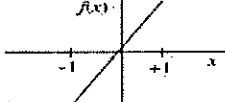
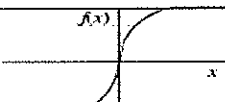
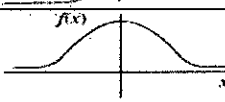
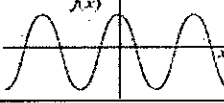
### 2.2.3.4 Funciones de transferencia

Las principales son las siguientes:

- **Función identidad o lineal:** Esta caracterizada porque la entrada y la salida de la función, son del tipo real. El rango es  $[-\infty, +\infty]$ . Se usa con frecuencia en la capa de salida.
- **Función escalón:** Es aquella función discreta, en donde los valores que se pueden tomar son entre  $[-1, +1]$  y  $[0, +1]$ .
- **Función lineal a tramos:** Es semejante a la función lineal, pero su rango es  $[-1, +1]$
- **Función sigmoidea:** Es aquella función continua, acotada en  $[0, +1]$  y  $[-1, +1]$ . Se utiliza con frecuencia en problemas de predicción.
- **Función gaussiana:** Es aquella función continua acotada entre  $[0, +1]$ . Se utiliza en redes neuronales en funciones de base radial.
- **Función sinusoidal:** Es una función continua acotada entre  $[-1, +1]$ .

El Cuadro N°2.1 ilustra los detalles de las funciones de transferencia.

**CUADRO N° 2.1  
CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA**

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

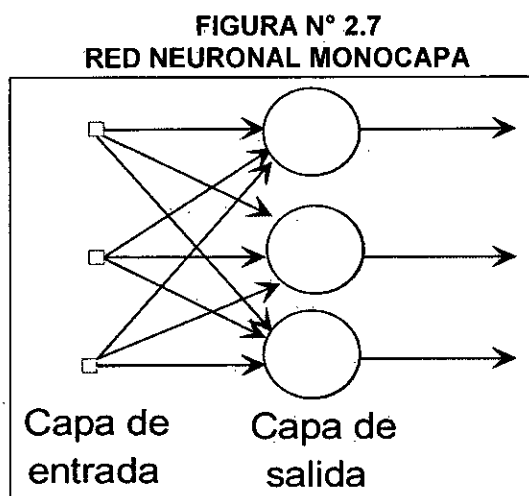
Fuente: Hílera, 1994



### 2.2.3.5 Tipos

#### a) Según el número de capas

i) **Red neuronal monocapa:** Es la red neuronal más simple y sencilla, en donde se tiene una capa de neuronas que van a proyectar las entradas a una capa de neuronas de salida donde se van a desarrollar los cálculos. En este caso la capa de entrada no realiza ningún cálculo, por lo que no se toma en cuenta. La Figura N°2.7 ilustra una red monocapa.



Para la forma matricial de una red neuronal de una capa y tres neuronas, con dos elementos para cada vector de entrada, tenemos:

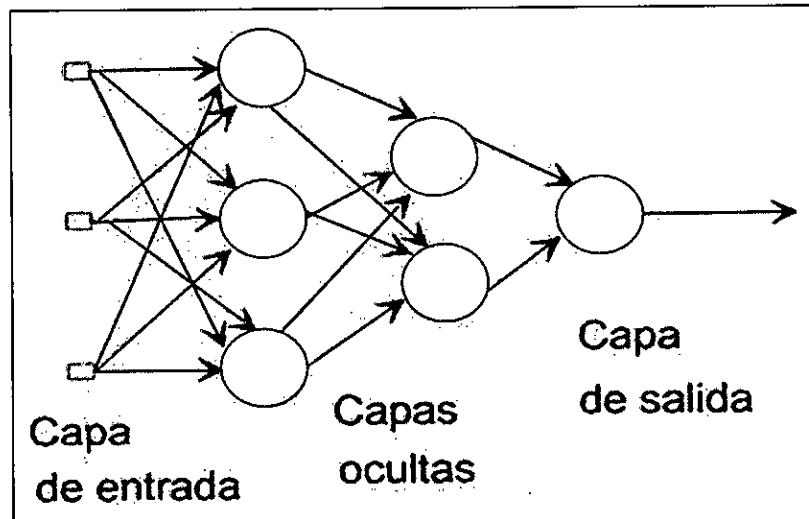
$$V_{3 \times 1} = \varphi(W_{3 \times 2} * X_{2 \times 1} + B_{3 \times 1})$$

Donde:

$$Y_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} ; W_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \\ w_{31} & w_{32} \end{bmatrix} ; X_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} ; B_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

ii) **Red neuronal multicapa:** Es la generalización de la red neuronal monocapa, pero a diferencia de ella hay un conjunto de capas intermedias entre la entrada y la salida, las cuales son llamadas capas ocultas. En este caso la conexión puede ser parcial o total. La Figura N°2.8 ilustra una red multicapa.

FIGURA N° 2.8  
RED NEURONAL MULTICAPA



Fuente: Grupo CATAM

Para la forma matricial de una red neuronal feed-forward con dos capas, de tres neuronas y dos neuronas y dos elementos en cada vector de entrada se tiene:

$$Y^{1C} = \phi(W^{1C} * X + B^{1C})$$

$$Y^{2C} = \phi(W^{2C} * Y^{1C} + B^{2C})$$

Donde:

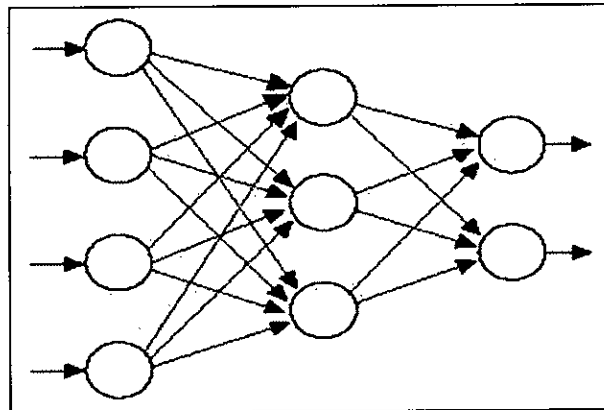
$$Y^{1C}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}; W^{1C}_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \\ w_{31} & w_{32} \end{bmatrix}; X_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; B^{1C}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

$$Y^{2C}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}; W^{2C}_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} \end{bmatrix}; B^{2C}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

## b) Según el tipo de conexiones

- i) **Redes neuronales no recurrentes:** En este tipo de red neuronal la propagación de las señales se realiza en un solo sentido, por lo que no hay realimentaciones. Estas redes no tienen memoria. La Figura N°2.9 ilustra esta red.

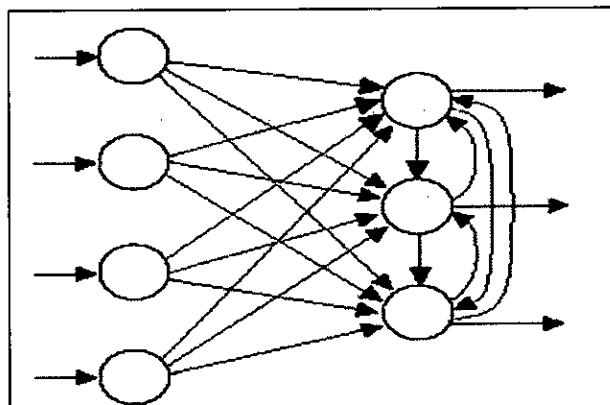
**FIGURA N° 2.9**  
**RED NEURONAL NO RECURRENTE**



Fuente: Flores Gutiérrez, 2013

- ii) **Redes neuronales recurrentes:** Contienen lazos de alimentación, los cuales pueden ser entre neuronas de diferentes capas, de una misma capa o entre la misma neurona. La Figura N°2.10 ilustra esta red.

**FIGURA N° 2.10**  
**RED NEURONAL RECURRENTE**



Fuente: Flores Gutiérrez, 2013

**c) Según el grado de conexión**

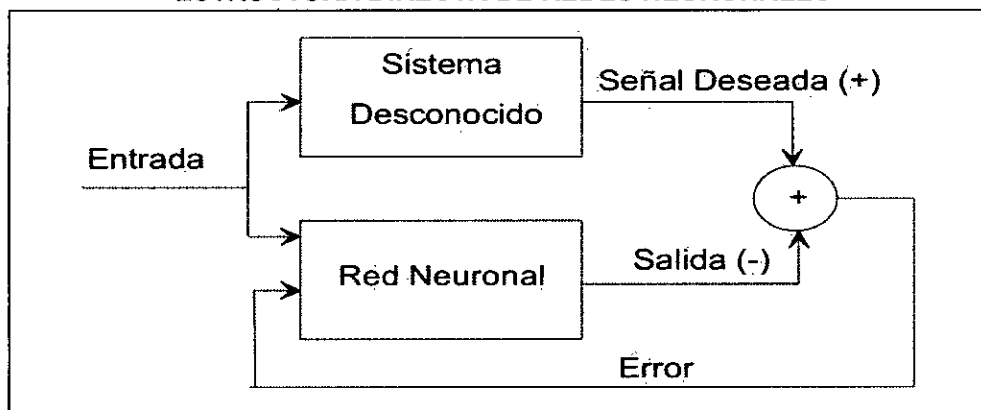
- i) **Redes neuronales totalmente conectadas:** Aquí todas las redes neuronales de una determinada capa están conectadas con otras capas. Si la conexión es con la siguiente capa sería una red no recurrente, si es con la anterior sería red recurrente.
- ii) **Redes parcialmente conectadas:** Aquí no hay conexión total entre las diferentes neuronas de las capas.

### 2.2.3.6 Estructuras

De acuerdo a Serrano, A., Soria, E., Martin, J. 2009, tenemos las siguientes estructuras de redes neuronales:

a) **Estructura directa:** En este caso el sistema desconocido y la red neuronal tienen las mismas entradas y el mínimo error será cuando la salida de la red neuronal y la señal deseada sean iguales. Se usa en sistemas desconocidos, que al ser excitarlos con algunas entradas, podemos conocer su salida. La Figura N°2.11 ilustra esta red neuronal.

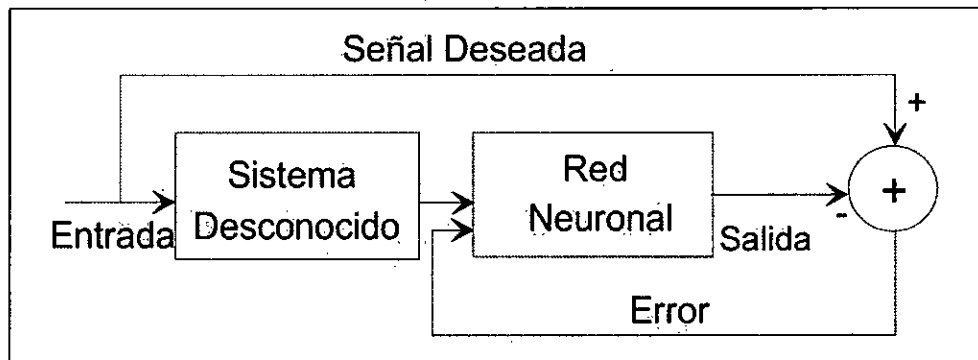
FIGURA N° 2.11  
ESTRUCTURA DIRECTA DE REDES NEURONALES



Fuente: Serrano, A., Soria, E., Martin, J. 2009

b) **Estructura inversa:** En este caso se alcanzará el mínimo error cuando la salida de la red neuronal sea la entrada al sistema desconocido, por lo que la función de transferencia de la red neuronal será la inversa del sistema desconocido. La Figura N°2.12 ilustra una neuronal de estructura inversa.

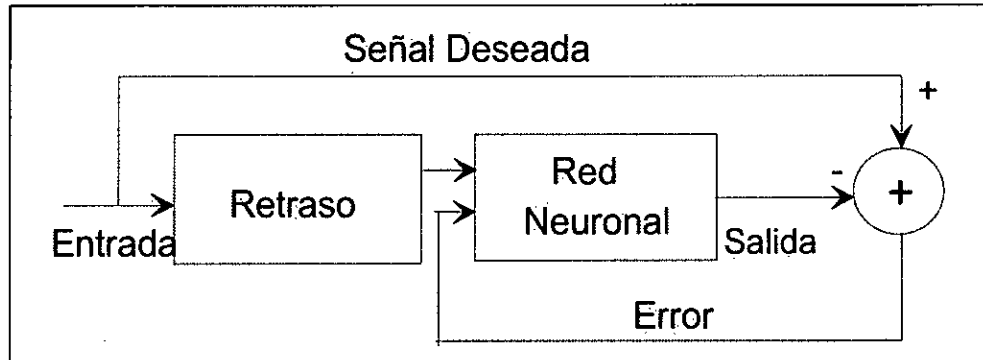
FIGURA N° 2.12  
ESTRUCTURA INVERSA DE REDES NEURONALES



Fuente: Serrano, A., Soria, E., Martin, J. 2009

c) **Estructura con retardo:** En este caso se modela la señal actual desde sus valores anteriores. Este modelo minimiza la diferencia de la señal objetivo y la salida de la red neuronal que se obtendrá con los valores de la señal. La Figura N°2.13 ilustra una neuronal de estructura con retardo.

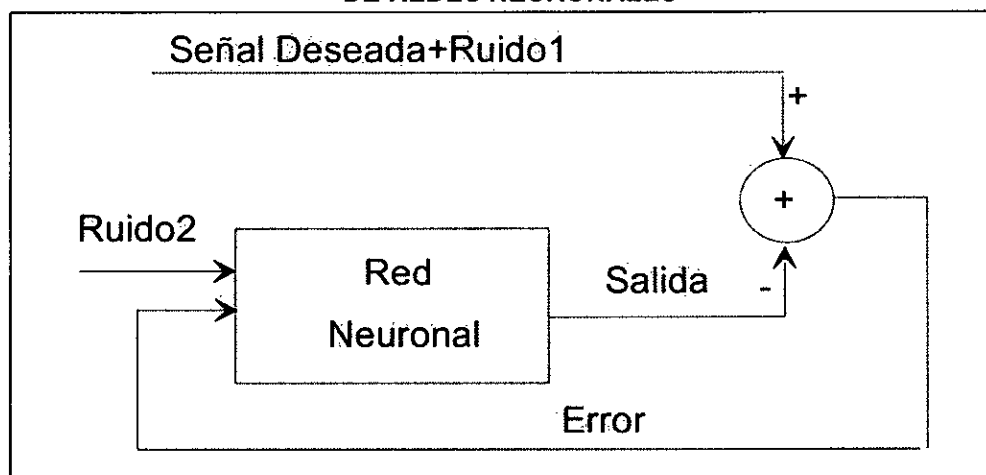
**FIGURA N° 2.13  
ESTRUCTURA CON RETARDO DE REDES NEURONALES**



Fuente: Serrano, A., Soria, E., Martin, J. 2009

d) **Estructura de cancelador activo de ruido:** En este caso juega un papel importante el algoritmo de la red neuronal, el cual tiene la función de minimizar el error cuadrático entre la salida de la red neuronal y la señal referencial. La Figura N°2.14 ilustra una neuronal de estructura de cancelador activo de ruido.

**FIGURA N° 2.14  
ESTRUCTURA DE CANCELADOR ACTIVO DE RUIDO  
DE REDES NEURONALES**



Fuente: Serrano, A., Soria, E., Martin, J. 2009

### 2.2.3.7 Modelo NARX

Es una red neuronal autorregresiva no lineal con entradas exógenas, correspondiente a una red dinámica recurrente, con diversas conexiones de retroalimentación que encierran varias capas de la red. Al igual que la red NAR, esta red es un tipo de perceptrón multicapa en la que después de tener las series de datos que se aplicaran definimos los rezagos, la cantidad de capas ocultas y la función de entrenamiento. En esta red va a haber una variable de salida que depende de varias variables de entrada.

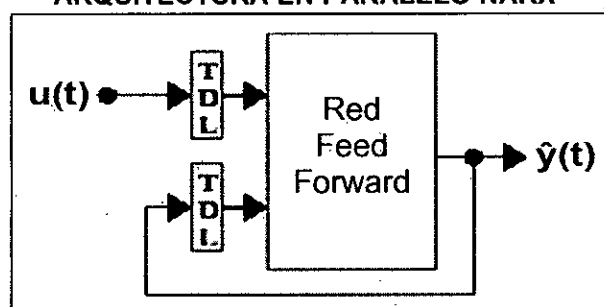
La ecuación que define al modelo NARX es la siguiente:

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n_y), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n_u))$$

donde el siguiente valor de la señal de salida dependiente  $y(t)$  se regula en valores previos de la señal de salida y valores previos de una señal de entrada independiente (exógena).

Se considera que la salida de la red NARX puede ser una estimación de la salida de un sistema dinámico no lineal que se está intentando modelar. La salida es devuelta a la entrada de la red neural de alimentación feedforward. Esto se considera una red de backpropagation feedforward con retroalimentación de la salida a la entrada. La arquitectura se muestra en la siguiente Figura N°2.15.

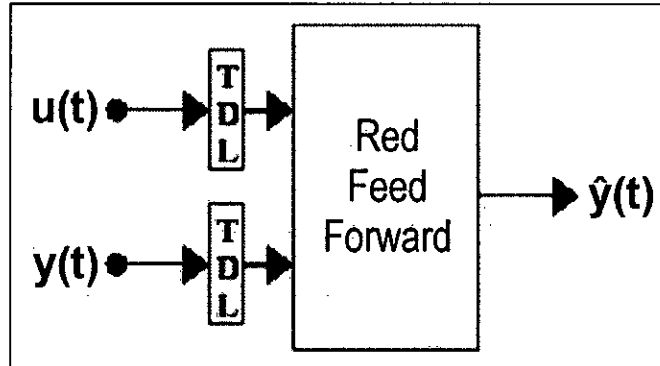
FIGURA N°2.15  
ARQUITECTURA EN PARALELO NARX



Fuente: MathWorks, Neural Network Toolbox

Debido a que la salida real está disponible durante el entrenamiento de la red, se puede crear una arquitectura serie-paralelo en la que la salida real se utiliza en la retroalimentación de la salida estimada. La arquitectura se muestra en la Figura N°2.16.

**FIGURA N°2.16**  
**ARQUITECTURA SERIE PARALELO NARX**



Fuente: MathWorks, Neural Network Tollbox

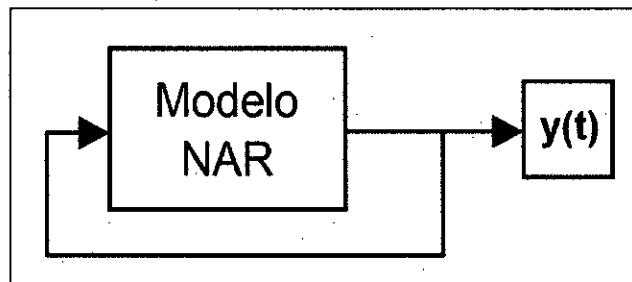
### 2.2.3.8 Modelo NAR

Es un modelo de red neuronal autorregresivo no lineal que consiste en una única serie de datos involucrada. Establece la predicción de una serie de datos futuros de una serie de tiempo en base a los registros pasados de esa serie. La red NAR se resume de la manera siguiente:

$$y(t) = f(y(t - 1), \dots, y(t - d))$$

Esta red es un tipo particular del perceptrón multicapa, donde tenemos una serie de datos a utilizar definimos los rezagos, la cantidad de capas ocultas y la función de entrenamiento. La arquitectura se ilustra en Figura N°2.17.

**FIGURA N°2.17**  
**ARQUITECTURA DEL MODELO NAR**



Fuente: MathWorks, Neural Network Tollbox

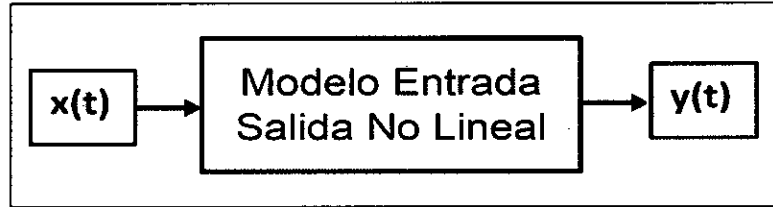
### 2.2.3.9 Modelo Entrada y Salida no Lineal

Establece la predicción de una serie de datos futuros  $y(t)$  en base a los registros pasados de otra serie  $x(t)$ , sin que tenga conocimiento de los valores anteriores de  $y(t)$ . Se resume de la siguiente manera:

$$y(t) = f(x(t - 1), \dots, x(t - d))$$

La arquitectura se ilustra en la Figura N°2.18.

**FIGURA N°2.18**  
**ARQUITECTURA DEL MODELO ENTRADA SALIDA NO LINEAL**



Fuente: MathWorks, Neural Network Tollbox

#### **2.2.4 Series de Tiempo**

Es un conjunto de valores, correspondientes a una variable, ordenados según el instante en que fueron tomados, y normalmente tomados a intervalos regulares de tiempo (Jiménez, 2007). El análisis de las series temporales se refiere a problemas en los que las observaciones son registradas a intervalos de tiempo y hay correlaciones entre observaciones sucesivas. Las aplicaciones cubren casi todas las áreas de la ciencia.

El análisis de las series temporales busca comprender la organización intrínseca de la fenomenología que producen las observaciones. La comprensión de los mecanismos de una serie de tiempo nos va a posibilitar desarrollar determinados modelos matemáticos que van a tratar de explicar los datos de tal manera que podamos hacer predicción, monitoreo, control, etc. Se supone que el conjunto de datos de las series temporales que van a ser objetos de análisis tiene un patrón sistemático. Entre los más comunes patrones tenemos las tendencias que son generalmente lineales o cuadráticas y la estacionalidad que es una tendencia que se repite sistemáticamente con el tiempo. Las observaciones que realizamos en el tiempo pueden ser observaciones discretas las cuales se pueden registrar en cualquier intervalo de tiempo a intervalos uniformemente espaciados y las observaciones continuas que se pueden espaciar al azar en el tiempo o se pueden medir de manera constante. Se puede considerar a las series temporales como muy complejas debido a que cada observación depende en cierta medida de la observación anterior y a menudo está influenciada por diversas observaciones anteriores. El análisis de series de tiempo busca encontrar los elementos de autocorrelación de los datos, de tal modo que comprendamos la tendencia.



#### 2.2.4.1 Objetivos

Los principales objetivos del análisis de series de tiempo son:

- a) **Descriptivo:** Donde podemos identificar patrones en datos correlacionados, además de tendencias y variaciones estacionales.
- b) **Pronóstico:** Para la predicción de las tendencias en el tiempo de acuerdo a sus patrones anteriores.
- c) **Explicación:** Para el entendimiento, procesamiento y modelación de datos.
- d) **Análisis de la intervención:** Analiza en el tiempo los cambios de un evento específico.
- e) **Control de calidad:** Registra los cambios que alteran las características previamente establecidas.

#### 2.2.4.2 Componentes

Los factores que pueden producir cambios en una serie temporal son los siguientes:

- a) **Tendencia:** Es el aumento o la disminución a largo plazo de los datos. Puede ser lineal o no lineal. Estos cambios son sistemáticos en la naturaleza donde los movimientos son amplios, constantes, mostrando una subida o caída lenta en la misma dirección. El registro de datos durante un cierto período nos permite detectar la tendencia en datos estacionales. Para poder determinar si una serie corresponde a una determinada ley se requiere que tenga un número elevado de muestras. El cambio en los promedios con el tiempo es evidencia de una tendencia en la serie dada.
- b) **Estacional:** En este caso los datos experimentan cambios regulares y previsibles después de un período fijo. Describe cualquier variación regular con un período de menos de un año. Las variaciones estacionales son causadas por el clima, costumbres, gobiernos de turno, etc.
- c) **Cambios Cíclicos:** Se presenta cuando los datos muestran aumentos y caídas que no son de período fijo. Se presentan variaciones cíclicas en un período fijo debido a alguna otra causa, como la variación de un

componente externo. En los datos semanales o mensuales, el componente cíclico puede describir cualquier variación regular en los datos de series de tiempo. Las variaciones cíclicas son periódicas en la naturaleza y se repiten así mismas al igual que en los ciclos de la industria en donde hay expansión, pico, depresión y recesión.

**d) Variaciones Irregulares:** Después de eliminar las demás tendencias la parte restante se llama componente irregular. Corresponde a movimientos erráticos que no siguen un patrón específico y que obedecen a diversas causas. Varias técnicas para analizar series de este tipo examinan si la variación irregular puede ser explicada en términos de modelos de probabilidad tales como el promedio de movimiento o modelos autorregresivos. Esto ocurre debido a causas repentinas denominadas variación residual y son impredecibles.

### **2.2.5 La energía térmica**

Es la energía en movimiento, la cual es conocida como energía cinética. Esta energía se crea a partir del movimiento de átomos y moléculas. Aunque invisible a simple vista a nuestros ojos, estas partículas se mueven constantemente generando energía. El movimiento crea fricción, que a su vez genera calor. Cuando una persona percibe calor, lo que siente son los efectos de la energía térmica en tránsito. El movimiento de átomos y moléculas aumenta con la temperatura. De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, la energía no puede ser creada o destruida. En cambio, se convierte o se transforma en diferentes formas.

#### **2.2.5.1 Energía térmica solar**

La definición de la asociación para el fomento y uso social de las energías renovables es la siguiente: La energía térmica solar llamada también termosolar, es la energía que convierte la radiación solar en calor, y transfiere este calor a un líquido, generalmente agua. Podemos aprovechar el calor del líquido calentado para obtener agua caliente sanitaria, calefacción de viviendas, calentamiento de piscinas y otras aplicaciones. (AFUSER 2014). Se puede aprovechar básicamente de dos formas:

a) **La energía solar activa:** En donde hay un proceso de transformación energética. Para aprovechar la energía se utilizan colectores solares y paneles fotovoltaicos.

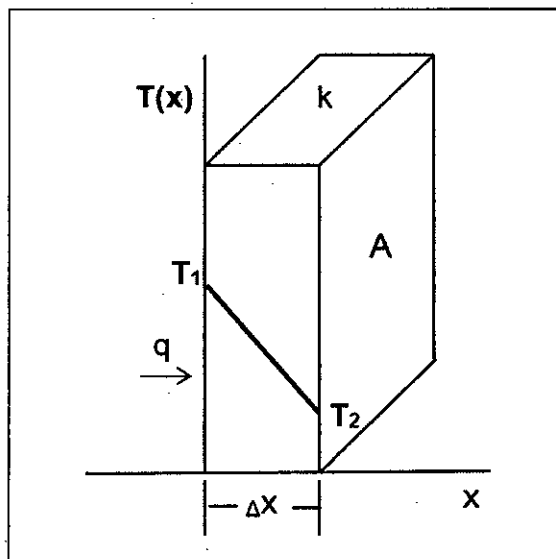
b) **La energía solar pasiva:** En donde se aprovecha la energía solar directamente sin tener que procesarla.

## 2.2.6 Modos de transferencia del calor

### 2.2.6.1 Conducción del calor

Es la manera de transferencia térmica en escala atómica en la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas entre ellas, donde las partículas con más energía le entregan energía a las menos energéticas, ocasionando un flujo de calor desde las más altas temperaturas a las más bajas. En el planteamiento se tiene una pared sólida con una sección transversal al flujo de calor ( $A$ ) con una profundidad ( $\Delta x$ ) y por una de sus caras tenemos una temperatura ( $T_1$ ) con mayor temperatura que otra ( $T_2$ ), el flujo de calor ( $q$ ) va a resultar inversamente proporcional a la gradiente de temperatura con relación a la posición y es directamente proporcional al área de intercambio de calor y a la constante característica de la pared. La Figura N°2.19 ilustra el proceso de conducción.

**FIGURA N° 2.19**  
**ESQUEMA DE CONDUCCIÓN**



Fuente: Elaboración propia

La relación entre la velocidad de la transferencia térmica por conducción y como se distribuyen las temperaturas depende de las características geométricas y las propiedades de sus materiales de acuerdo a la ley de Fourier, que establece lo siguiente:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

### 2.2.6.2 Radiación de calor

Es la energía que emite la materia en todas direcciones hacia otro cuerpo con distinta temperatura. Esta energía se produce por cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos de las moléculas, la cual se desplaza como ondas electromagnéticas, las cuales son una combinación de campos eléctricos y magnéticos que oscilan en forma perpendicular entre sí. La ley de Stefan-Boltzmann representa matemáticamente este proceso y establece que teniendo separados a una determinada distancia un cuerpo emisor de calor con temperatura superficial  $T_1$  y otro cuerpo receptor de calor con temperatura superficial  $T_2$ , el flujo calorífico absorbido ( $q$ ) por el cuerpo receptor de calor es proporcional al producto entre la constante de Stefan-Boltzmann, el área irradiada, el factor de emisividad, el factor de forma, y a la diferencia de las temperaturas, ya elevadas a la cuarta potencia. La constante de Stefan-Boltzmann es:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

La Ley de Stefan-Boltzmann establece lo siguiente:

$$q = \sigma \cdot A \cdot F_e \cdot F_T \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

### 2.2.6.3 Convección de calor

Se produce cuando un fluido entra en contacto con una superficie sólida de distinta temperatura y hay un intercambio de energía. Existen dos tipos de convección:

**a) Convección libre o natural:** Se produce cuando la fuerza motriz proviene de la variación de la densidad en el fluido producto del contacto con una

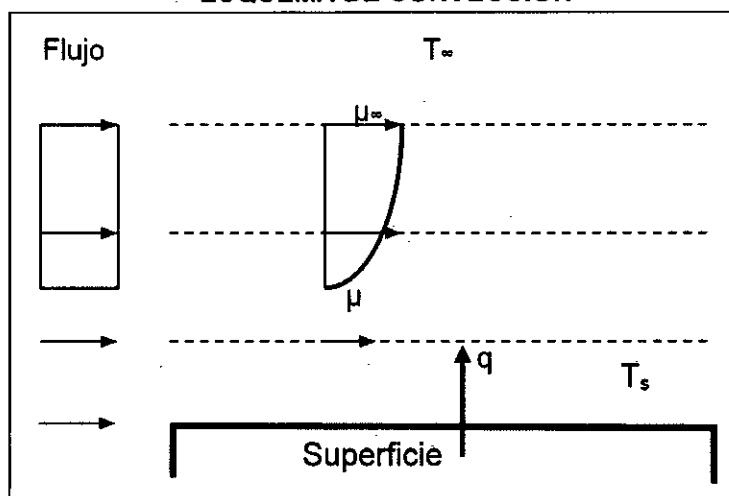
superficie con diferente temperatura. El fluido más cercano a la superficie obtiene la velocidad a causa de la diferencia de densidades, sin necesidad de una fuerza motriz externa.

**b) Convección forzada:** En este caso el movimiento del fluido es forzado con un dispositivo externo, ya no se produce por el efecto de las diferencias de temperatura como en el caso anterior. La fuerza motriz externa mueve el fluido sobre una superficie de diferente temperatura. En este caso al ser forzada la velocidad del fluido hay una transferencia mayor de calor para una determinada temperatura. La ley de enfriamiento de Newton representa matemáticamente este proceso y establece que cuando un fluido viscoso a una temperatura ( $T_{\infty}$ ) se desplaza sobre un cuerpo solido con otra temperatura ( $T_p$ ) el flujo calorífico intercambiado ( $q$ ) es proporcional a la superficie de contacto, al valor absoluto de la diferencia de las temperaturas, al coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $h_c$ ) el cual está en función de las características del flujo, las propiedades de transporte del fluido y la parte geométrica de la superficie. La ley de enfriamiento de Newton, describe el flujo como:

$$q = h_c \cdot A_s \cdot |T_s - T_{\infty}|$$

La Figura N°2.20 ilustra el proceso de convección.

**FIGURA N° 2.20  
ESQUEMA DE CONVECCIÓN**

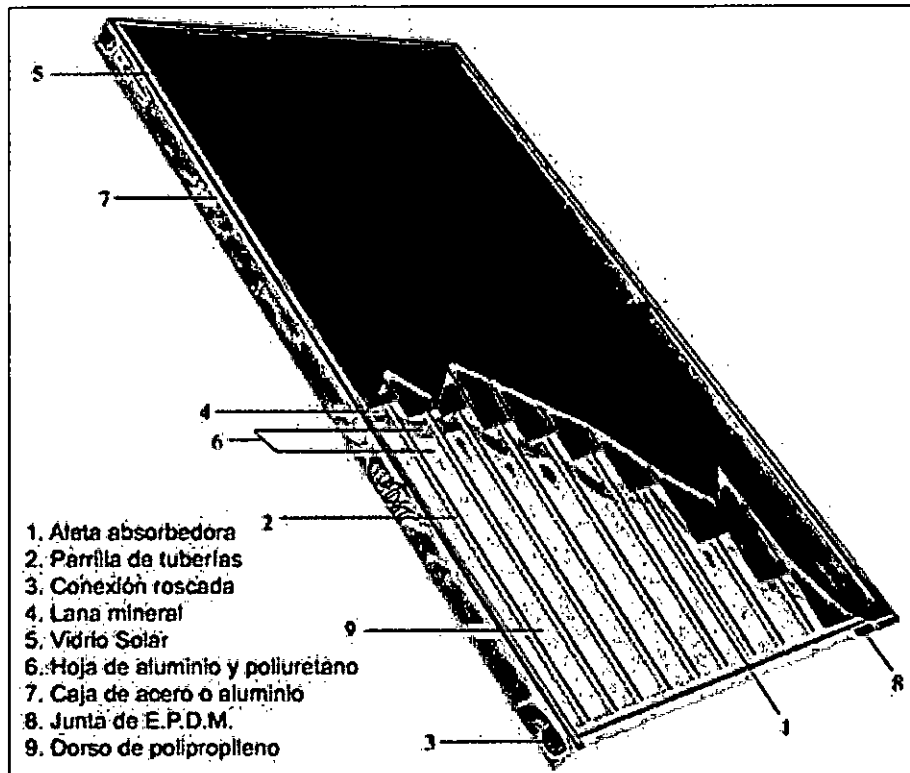


Fuente: Elaboración propia

### 2.2.7 Colectores solares

Consiste de dispositivos diseñados para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. El Anexo N°6 detalla especificaciones técnicas de colectores solares de venta local. La Figura N°2.21 ilustra sus partes.

FIGURA N° 2.21  
PARTES DE UN COLECTOR SOLAR



Fuente: Delta Volt

Un sistema clásico al que pertenecen los colectores solares está formado por los siguientes subsistemas:

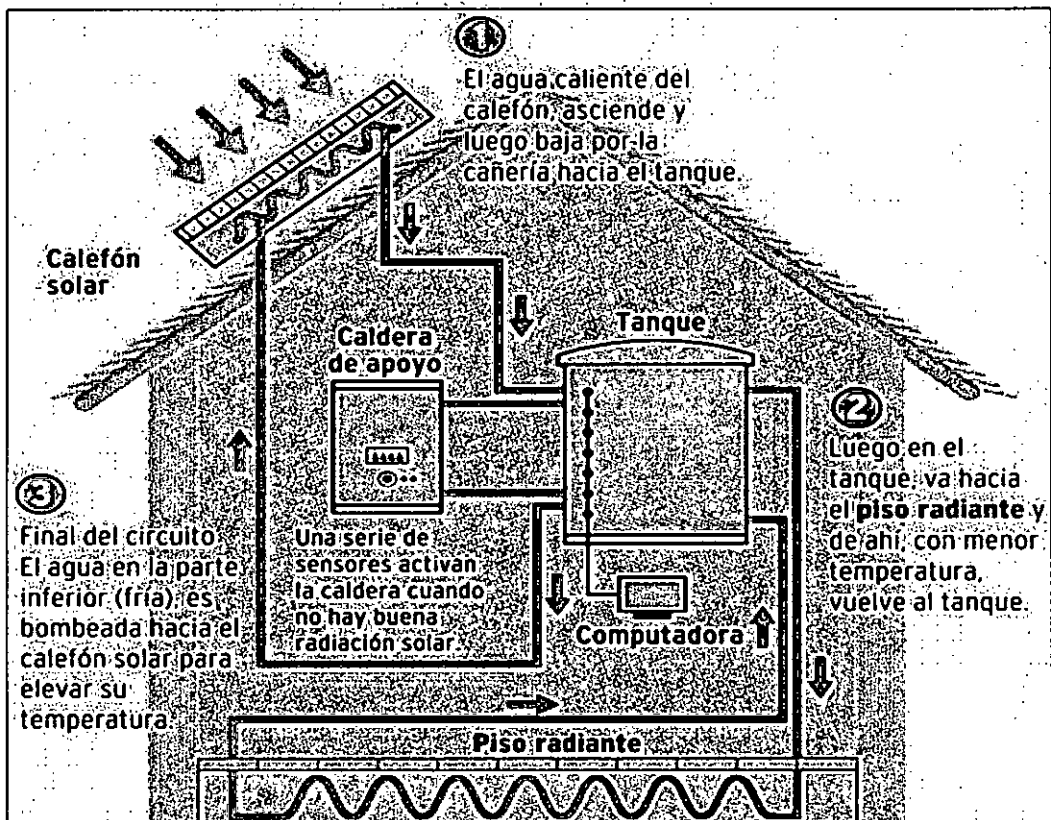
- El sistema de captación: Son los colectores solares.
- El sistema de acumulación: Es el depósito que va acumular el agua caliente generada.
- El sistema hidráulico: Son las bombas y tuberías por donde circulan los fluidos.
- El sistema de intercambio: En caso de que el fluido que circula por los paneles solares no sea el mismo que el que utiliza el usuario en su aprovechamiento.

-El sistema de control: Se usa en sistemas de circulación forzada con bombas, para el inicio y paradas del sistema.

-El sistema de energía auxiliar: Hay ocasiones que la viabilidad económica de la instalación solar exige que no se pueda satisfacer la demanda energética en todo momento, es por esto que en ocasiones se dispone en la misma instalación de un sistema de energía auxiliar.

La Figura N°2.22 resume el funcionamiento de un sistema con colectores solares.

FIGURA N° 2.22  
FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA CON COLECTOR SOLAR



Fuente: Renovables hoy

Los conceptos que debemos considerar en un sistema de generación de energía térmica con colectores solares son los siguientes:

### 2.2.7.1 Capacidad del sistema

$$\text{Capacidad} = (\text{Litros/persona}) * (\text{número de personas}) * (\text{por ciento})$$

### 2.2.7.2 Calor útil

$$Q_u = S_t F_R A_c - U_L F_R A_c (T_e - T_a)$$

Donde:

$Q_u$ : Calor aprovechado

$S_t F_R A_c$ : Calor obtenido por la radiación

$U_L F_R A_c (T_e - T_a)$ : Calor perdido

Simplificando tenemos:

$$Q_u = F_R A_c [S_t - U_L (T_e - T_a)]$$

Donde:

$Q_u$ : calor útil.

$F_R$ : Factor de remoción del calor.

$A_c$ : Área del colector.

$S$ : Radiación global que incide en la superficie del colector.

$t$ : Transmisión de la cubierta.

$U_L$ : Coeficiente total de pérdidas.

$T_e$ : Temperatura de entrada del fluido al colector.

$T_a$ : Temperatura ambiente.

### 2.2.7.3 Cálculo del nivel de calor requerido

$$Q_r = (m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)) / 1000$$

Donde:

$Q_r$  = Calor requerido

$M$  = Masa de agua

$C_p$  = Calor específico del agua

$T_f$  = Temperatura final

$T_i$  = Temperatura inicial

### 2.2.7.4 Eficiencia:

$$\eta_c = (Q_{ud} / R_{td}) \cdot 100$$

Donde:

$\eta_c$  = Eficiencia del colector

$Q_{ud}$  = Calor útil durante el día

$R_{td}$  = Radiación total diaria



### 2.2.7.5 Cálculo del área

$$A_c = Q_r / (R_s * \eta_c)$$

Donde:

$A_c$  = Área del colector

$Q_r$  = Calor requerido

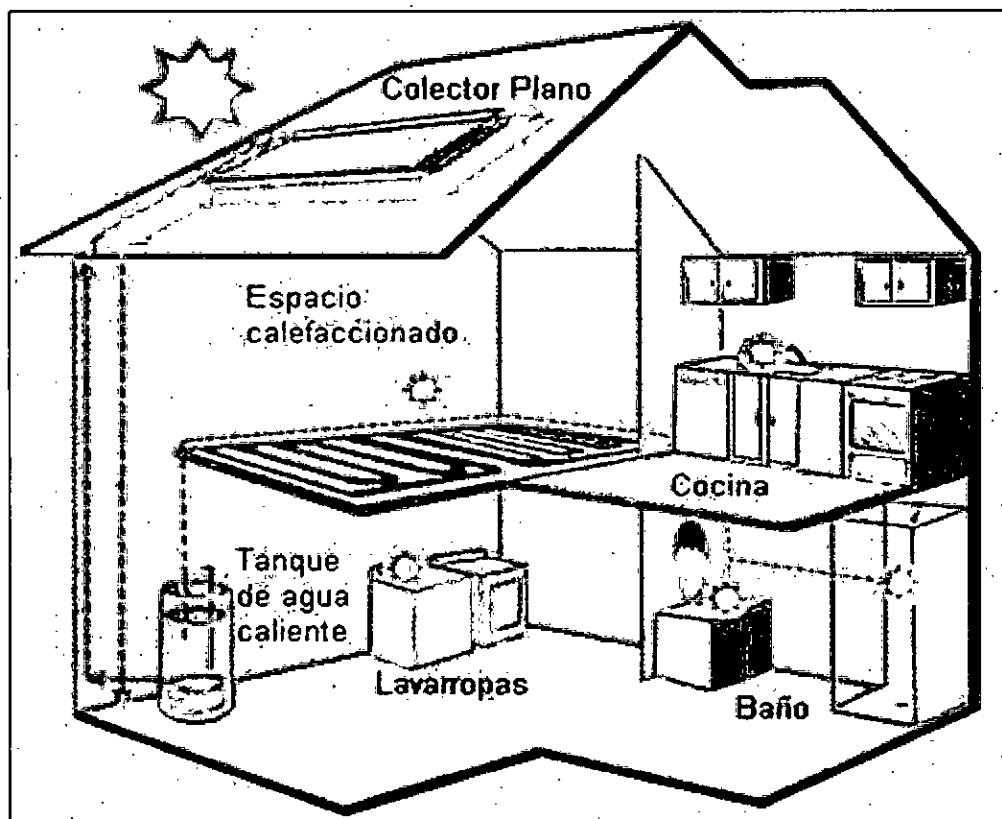
$R_s$  = Radiación solar del lugar

### 2.2.7.6 Aplicaciones energéticas

Tienen múltiples usos, entre los que se encuentran: preparación de agua caliente para usos sanitarios, climatización de piscinas, calefacción, frío solar, crear vapor, cocinar, esterilización, pasteurización, desalinización, lavado, secado, tintado, entre otras, tanto a nivel doméstico como industrial.

La Figura N°2.23 ilustra algunos dispositivos que usan el servicio de agua caliente de un sistema colector solar.

FIGURA N° 2.23  
COLECTOR PLANO ABASTECE A DIVERSOS DISPOSITIVOS EN UNA CASA

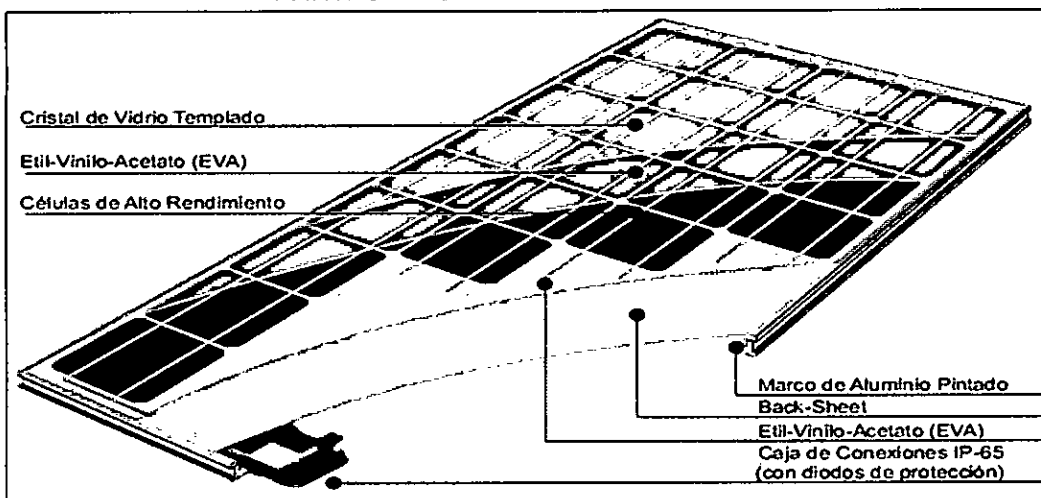


Fuente: Estudio Lampada

### 2.2.8 Paneles Fotovoltaicos

Consiste de paneles solares de células de silicio u otros semiconductores que cuando son expuestos al sol, generan una corriente eléctrica. El Anexo N°8 detalla las especificaciones técnicas de paneles fotovoltaicos de venta local y los Anexos N°9, 10 y 11 detallan las especificaciones técnicas de dispositivos básicos para el uso de los paneles como baterías, inversores y controladores de carga. La Figura N°2.24 ilustra las partes de un panel fotovoltaico.

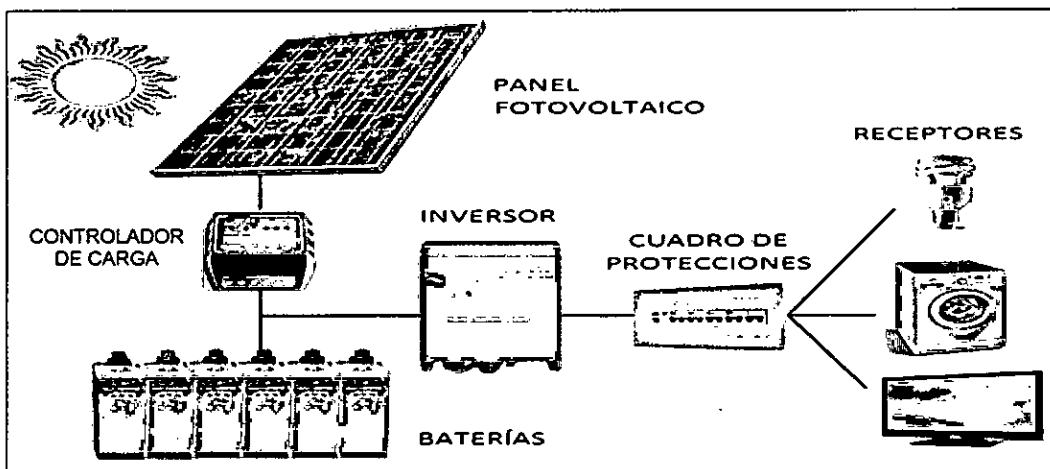
**FIGURA N° 2.24**  
**PARTES DE UN PANEL FOTOVOLTAICO**



Fuente: Sebastián, Eliseo

La Figura N°2.25 ilustra las partes básicas de un sistema con panel fotovoltaico.

**FIGURA N° 2.25**  
**PARTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO**



Fuente: Estructuras climáticas avanzadas

### 2.2.8.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte de forma directa los rayos luminosos del sol (o de otra fuente) en electricidad. Para ello, utiliza módulos fotovoltaicos compuesto de células solares o de fopilas que realizan esta transformación energética. (Labournet y Viloz: 2010: 13).

### 2.2.8.2 Sistemas aislados

Los sistemas aislados por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía solo en horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche (Fernández 2010:276).

### 2.2.8.3 Consumo energético

Se calcula a partir del consumo teórico  $E_T$  (W-h) y se toman en cuenta múltiples factores de perdidas:

$$E = E_T / R$$

Donde R es el parámetro del rendimiento global de la instalación fotovoltaica:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - (K_a * N / P_d))$$

Donde:

$K_b$  = Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador.

$K_c$  = Coeficiente de pérdidas en los convertidores.

$K_v$  = Coeficiente de pérdidas varias.

$K_a$  = Coeficiente de descarga diaria.

$N$  = Número de días de autonomía.

$P_d$  = Profundidad de descarga diaria de la batería.

### 2.2.8.4 Capacidad del banco de baterías

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = ((E * N) / (V * P_d))$$

En donde:

$E$  = Consumo energético

$N$  = Número de días de autonomía.

V = Tensión nominal del acumulador: 12 V

Pd = Profundidad de descarga diaria de la batería.

### 2.2.8.5 Calculo del número de paneles fotovoltaicos

$$N_p = E / (0.9 * W_p * H_{ps})$$

En donde:

E= Consumo energético

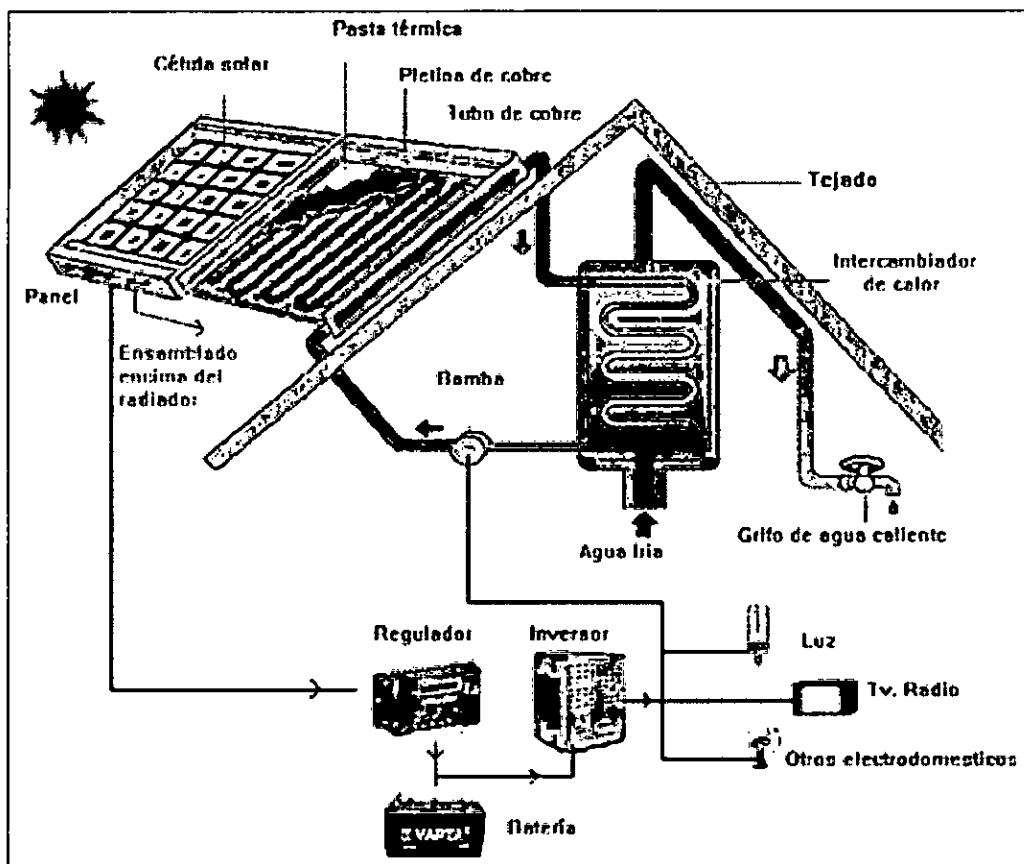
Wp = Potencia pico de cada panel solar

Hps = Promedio anual de la irradiación solar

### 2.2.9 Sistema híbrido de energía solar

La Figura N°2.26 ilustra los elementos de un sistema híbrido de energía solar compuesto por un colector solar y un panel fotovoltaico, los cuales pueden abastecer de energía térmica y eléctrica a una vivienda.

FIGURA N° 2.6  
SISTEMA COLECTOR - FOTOVOLTAICO



Fuente: Soluciones energéticas y reformas

## 2.2.10 Fuentes de registro de datos

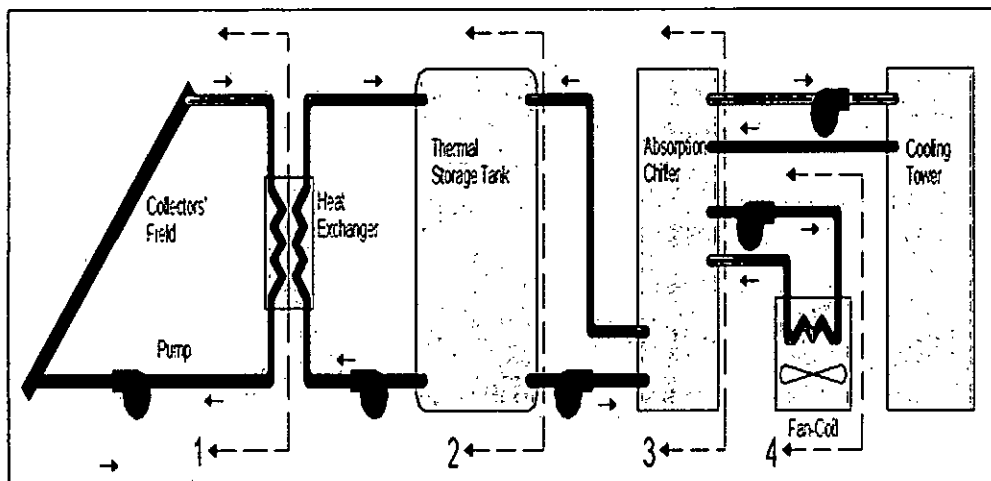
### 2.2.10.1 Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío

La instalación térmica solar estuvo ubicada en la azotea del edificio Betancourt en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, localizada en Leganés (España). El sistema abastece al edificio de:

- Agua Caliente Sanitaria.
  - Calefacción.
  - Aire acondicionado.
- La instalación está compuesta principalmente por:
- 50 m<sup>2</sup> de colectores solares planos.
  - 50 m<sup>2</sup> de colectores de tubos evacuadores.
  - 20 m<sup>2</sup> de colectores solares planos de vacío.
  - Intercambiador de calor de placas.
  - Dos tanques de almacenamiento de agua.
  - Bombas.
  - Máquina de absorción de 35 kW.
  - Torre de refrigeración.

La Figura N°2.27 representa la instalación general.

FIGURA N° 2.27  
DIAGRAMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN

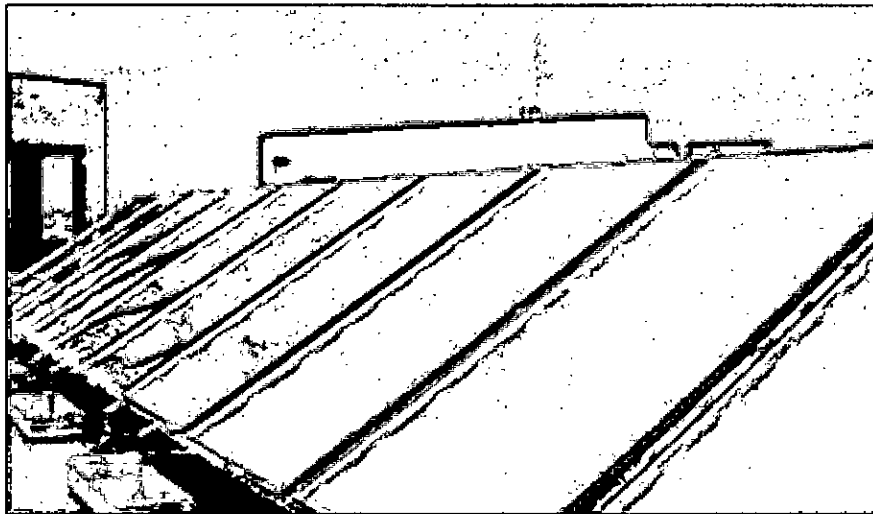


Fuente: Víctor Salguero Fernández, 2008

El sistema produce frío para la producción de aire acondicionado y el calor que alimenta a la máquina de absorción proviene de los colectores solares a una temperatura entre 65- 85°C. En la temporada de verano al mediodía el calor producido por los colectores llega a los 30 Julios por segundo, obteniéndose una potencia frigorífica de 15 kW.

Los colectores solares planos de vacío de la instalación (Ver Figura N°2.28) fueron del modelo 400V, de la marca Thermosolar. En la instalación hubo 10 paneles de 2 m<sup>2</sup>, teniendo una superficie total de 20 m<sup>2</sup>.

**FIGURA N° 2.28**  
**COLECTORES SOLARES PLANOS DE VACÍO INSTALADOS**



Fuente: Salguero Fernández, 2008

El registro de la energía solar producida de los colectores solares planos de vacío, objetos de estudio en la primera hipótesis de esta investigación se presentan en el anexo N° 2. Estos registros son del 30 de junio al 11 de julio del 2007.

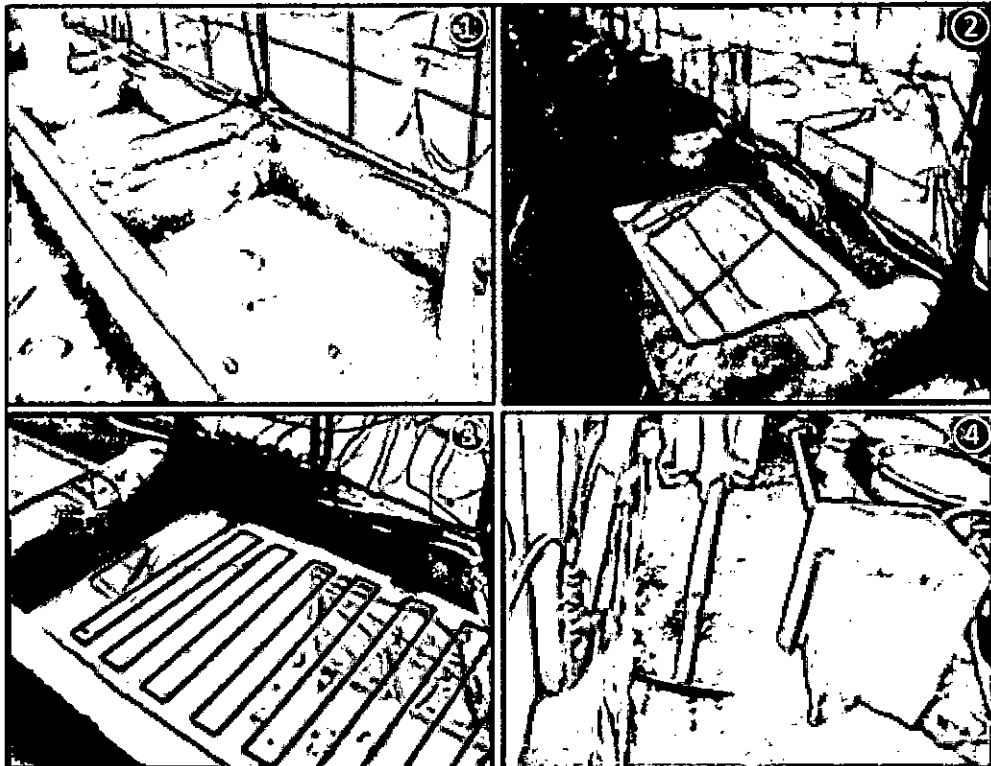
#### **2.2.10.2 Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero**

Fue desarrollada en las instalaciones de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real (España) de la Universidad de Castilla - La Mancha. El invernadero donde se realizaron las experimentaciones está ubicado en la parte posterior de la Escuela con orientación Este-Oeste.

Se instalaron de manera independiente en los exteriores dos pares de colectores solares planos; dos colectores planos con cubierta simple y dos con doble cubierta con conexión en serie, siendo los datos registrados por estos dos últimos los tomados en cuenta en la presente investigación. Además se implementaron seis concentradores cilíndrico parabólicos donde tres de ellos eran sin tubo absorbente aislado, y otros tres tenían el tubo absorbente aislado, siendo los datos registrados por estos tres últimos los tomados en cuenta en la presente investigación.

La principal función de los colectores solares era calentar el agua para poder transmitir la energía captada por medio de los intercambiadores de calor al suelo. Los intercambiadores se utilizaron en cuatro bancales conectados al sistema de distribución por medio de tuberías. Se adecuó para que no haya pérdidas de agua (Ver Figura N°2.29) y se cubrieron los bancales con mezcla de tierra.

**FIGURA N°2.29  
COLOCACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR EN EL SUSTRATO**



Fuente: Pérez de los Reyes, 2007

Se puede apreciar lo siguiente en el bancal:

- 1-Sin tierra
- 2-Con capa de aislamiento
- 3-Con intercambiador aislado
- 4-Rellenado con sustrato

Los concentradores cilíndrico parabólicos con tubo absorbente aislado y sin aislar se pueden apreciar en la Figura N°2.30, en el fondo de la imagen está el invernadero.

**FIGURA N°2.30**  
**CONCENTRADORES CILÍNDRICO PARABÓLICOS: CON TUBO ABSORBENTE AISLADO (IZQUIERDA) Y CON TUBO ABSORBENTE SIN AISLAR (DERECHA)**



Fuente: Pérez de los Reyes, 2007

La energía que se acumuló en el suelo del invernadero se define así:

$$E = E_s + E_a = m_s \cdot c_s \cdot \Delta t + m_a \cdot c_a \cdot \Delta t$$

Donde:

E= Energía total acumulada (J)

E<sub>s</sub> = Energía acumulada en el suelo (J)



$E_a$  = Energía acumulada en el agua del suelo (J)

$m_s$  = Masa de suelo (g)

$m_a$  = Masa de agua (g)

$c_s$  = Calor específico del suelo (J/g·°C)

$c_a$  = Calor específico del agua (J/g·°C)

$\Delta t$  = Variación de temperatura (°C)

De la ecuación anterior se halla la energía acumulada entre la energía del suelo y la energía del agua que le llega; al final del día se obtiene la energía diaria acumulada.

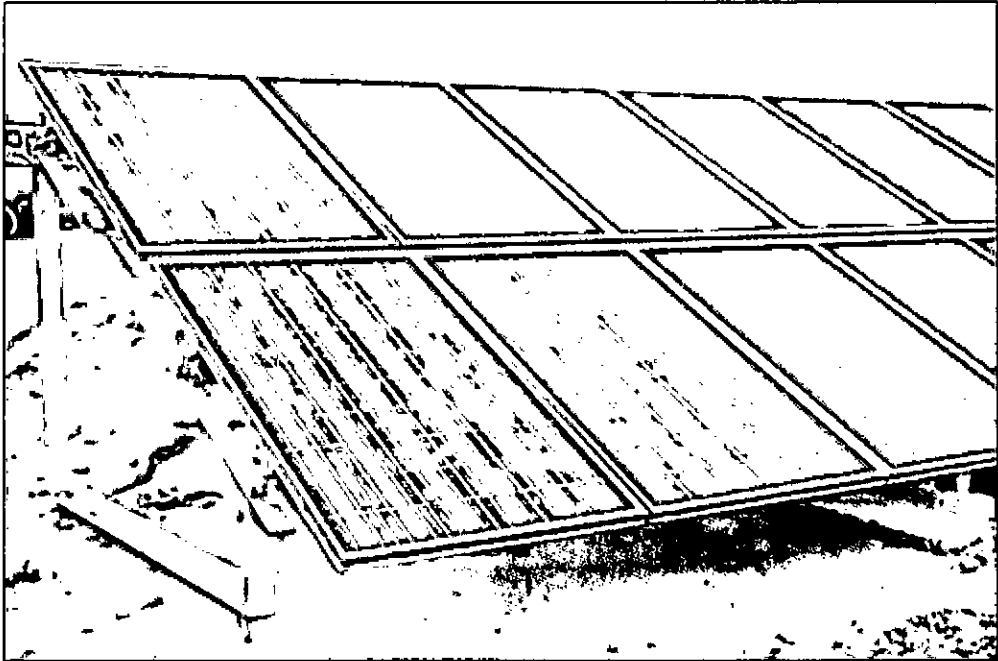
El registro de datos de la energía acumulada del suelo tratado con agua procedente de colectores solares planos con dos cubiertas (CD) y del suelo tratado con agua procedente de concentradores cilíndricos parabólicos con el tubo absorbente aislado (CCPA) objetos de estudio en la segunda hipótesis de esta investigación se presentan en el anexo N° 3. Los registros son desde el 1 de julio al 30 de setiembre del 2007.

### **2.2.10.3 Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos**

Abarca tres huertos solares ubicados en el municipio de la Escacena del Campo de la provincia de Huelva de España, en el municipio de La Palma del Condado de la provincia de Huelva de España y en el municipio de Alcalá del Río de la provincia de Sevilla en España. En los tres huertos hay 54 plantas solares que se agrupan en 12 tipos de acuerdo a las características ya sea ubicación, seguimiento, y potencia instalada.

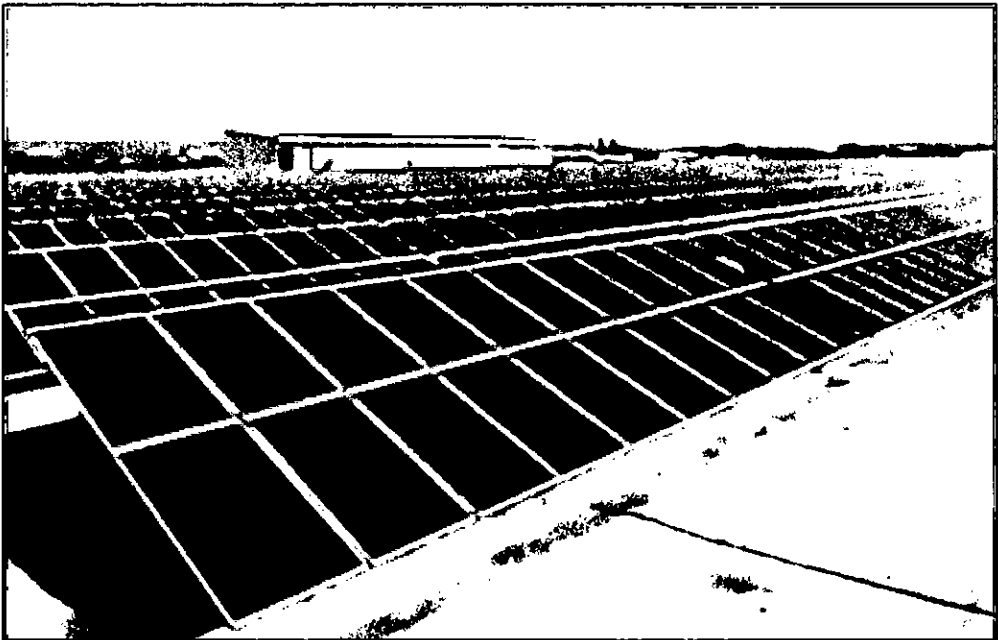
El registro de datos de la energía producida de la planta solar de 112.04kW, constituida por 520 paneles fotovoltaicos policristalinos de seguimiento fijo (Ver Figura N°2.31), del municipio de La Palma del Condado, Provincia de Huelva, España y el registro de datos de la energía producida de la planta solar de 75.24kW, constituida por 342 paneles fotovoltaicos monocristalinos de dos ejes (Ver Figura N°2.32), del municipio de Alcalá del Río, Provincia de Sevilla, España, son objetos de estudio en la tercera hipótesis de esta investigación y se presentan en el anexo N° 4. Los registros son desde el 1 de enero del 2009 al 31 de diciembre del 2010.

**FIGURA N°2.31**  
**PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS DEL MUNICIPIO DE LA**  
**PALMA DEL CONDADO**



Fuente: Canal Sur

**FIGURA N°2.32**  
**PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS DEL MUNICIPIO DE**  
**ALCALÁ DEL RÍO**



Fuente: Som Energía

### 3.11 Presupuestos de referencia

#### 3.11.1 Sistema de calentamiento sin aislar con dos botellas

Se utilizan materiales plásticos descartados para su armado, disponiendo su reutilización por varios años más, con un costo económico reducido para ser alcanzado por un amplio sector de la población. La Figura N°2.33 ilustra el sistema. En Anexo N° 23 detalla el proceso de construcción.

**FIGURA N° 2.33**  
**SISTEMA DE CALENTAMIENTO SIN AISLAR CON DOS BOTELLAS**



Fuente: Miranda Gassull, V.

El costo final del sistema alcanza U\$S 37.53 por cada 0.75 m<sup>2</sup> de superficie colectora. El Cuadro N° 2.2 muestra el detalle de los costos incurridos. No se consideró la mano de obra, por ser autoconstruido.

**CUADRO N° 2.2  
PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO SIN AISLAR CON  
DOS BOTELLAS**

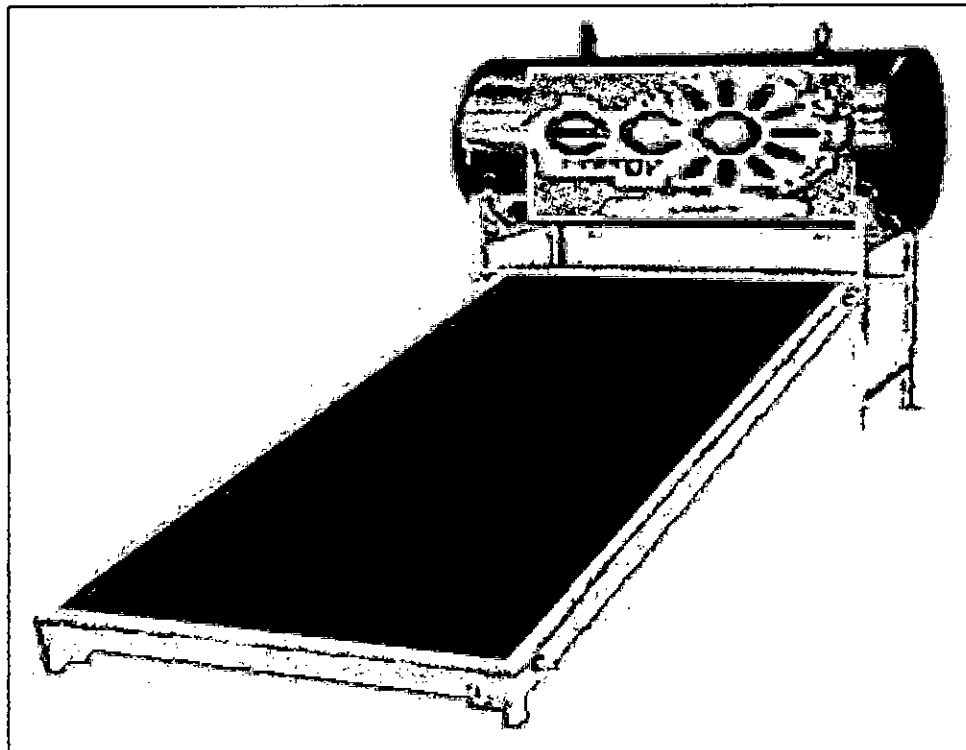
N°	Descripción Materiales	Costo Unitario	Cantidad	Totales
1	Botellas PET recicladas	0	60	0
2	Papel reflejante metálico (1,00 m X 1,20 m)	2.08	3	6.23
3	Tubos de Polipropileno ½" TIGRE (6.00 m)	4.70	1	4.70
4	Tubos de Polipropileno 1" TIGRE ( 6.00 m)	1.13	1	1.13
5	Unión Tee Reducción	0.90	8	7.20
6	Codo reducción	0.80	2	1.60
7	Acoples	0.50	5	2.50
8	Niples	0.50	5	2.50
9	Unión roscada	0.29	2	0.58
10	Adaptadores ½"	1.75	2	3.50
11	Teflón	0.63	3	1.88
<b>TOTAL US (\$)</b>				<b>31.80</b>

Fuente: Miranda Gassull, V.

**3.11.2 Sistema colector solar para una familia de cuatro personas**

La Figura N°2.34 ilustra el sistema y el Cuadro N° 2.3 muestra el presupuesto.

**FIGURA N° 2.34  
SISTEMA COLECTOR SOLAR DE 160 LITROS –MODELO PS 160 -1**



Fuente: Solano Flores, A. L.

**CUADRO N° 2.3  
PRESUPUESTO DEL MODELO PS 160 LITROS**

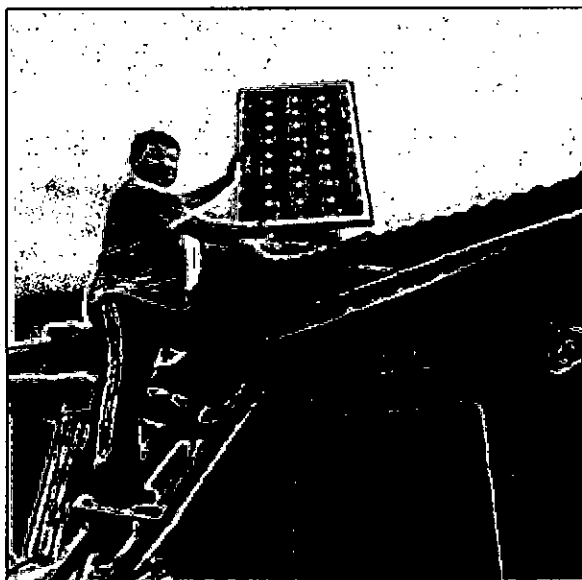
<b>COLECTOR SOLAR</b>	
Largo	1870mm
Ancho	850 mm
Cubierta del Colector	Vidrio
Espesor	3.2 mm
Material Aislante	Lana Galvanizada y pintura
<b>TANQUE TÉRMICO</b>	
Tanque Interno	Acero inoxidable 304
Tanque Externo	Acero galvanizado y pintura
Aislante	Poliuretano
Diámetro de las conexiones	3/4"
Capacidad de almacenamiento	160 Lts
Dimensiones	Largo: 145cm; Diámetro: 48 cm
Estructura de soporte	Acero galvanizado y pintado
Garantía	6 años
<b>PRECIO (INCL. IMP.) US (\$):</b>	<b>837 Dólares</b>

Fuente: Solano Flores, A. L.

### 3.11.3 Sistema fotovoltaico para cuatro viviendas

El sistema fotovoltaico buscó suplir las necesidades básicas de energía eléctrica de cuatro familias del barrio de Puerto Roma. La Figura N°2.35 ilustra parte del sistema implementado.

**FIGURA N° 2.35  
PANEL FOTOVOLTAICO DEL SISTEMA  
IMPLEMENTADO**



Fuente: Gonzales, G., Zambrano, J.

Debido a la precariedad de las viviendas, en el presupuesto se tomó en consideración, diversas instalaciones como el ajuste de coordenadas de los paneles Solares, las instalaciones eléctricas de iluminación y tomacorriente y la instalación del panel. El Cuadro N° 2.4 muestra resume el presupuesto. El Anexo N° 24 detalla el mismo, además de mostrar fotos de la implementación.

**CUADRO N° 2.4  
COSTO TOTAL DE UN PROYECTO FOTOVOLTAICO PARA CUATRO FAMILIAS**

N°	Descripción	Totales (Incl. Imp.)
1	Costos de los Kits Solares	4,422.29
2	Costos de los Tableros de Distribución	445.39
3	Costo de la Instalación Eléctrica	261.87
4	Gestión y Comunicación	1,943.24
<b>TOTAL US(\$):</b>		<b>7,072.78</b>

Fuente: Gonzales, G., Zambrano, J.

### 2.2.11 Organismos reguladores

Las instituciones que regulan en el Perú las energías renovables son:

- **Ministerio de Energías y Minas (MINEM):** Promueve e impulsa el desarrollo de las energías renovables, asimismo establece la reglamentación vigente del mercado.
- **Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN):** Regula y supervisa que las empresas del sector eléctrico, minero e hidrocarburos cumplan las disposiciones legales de las actividades que realizan.
- **Comité de Operación Económica del Sistema (COES):** Vela por la seguridad del abastecimiento de energía eléctrica, asegurando suministrar energía de calidad.
- **Instituto de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI):** Se encargan de elaborar las Normas Técnicas Peruanas a través de los comités técnicos de normalización.

### 2.2.12 Normas legales

Referentes al uso de energías renovables en el país, se encuentran:

- **Decreto Legislativo 1002:** Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

- **Decreto Supremo N° 024-2013-EM:** Modifica algunos artículos del Decreto Supremo N° 012-2011-EM, Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables, emitido en marzo del 2011 y que, a la vez, reemplaza al reglamento original, aprobado mediante Decreto Supremo N° 050-2008.
- **R.D.N°003-2007-EM-DGE:** Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural.
- **NTP 399.400.2001:** Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar la eficiencia.
- **NTP 399.403.2006:** Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para calificación energética.
- **NTP 399.404.2006:** Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Fundamentos para su dimensionado eficiente.
- **NTP 399.482.2007:** Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Procedimiento para su instalación eficiente.
- **NTP 399.405.2007:** Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Definición y pronóstico anual de su rendimiento mediante ensayos en exterior.
- **NTP 399.484.2008:** Sistemas de Calentamiento de agua con energía solar (SCAES). Límites y Etiqueto.
- **Decreto Supremo N° 064-2010-EM:** Política Energética Nacional Del Perú 2010-2040.

### 2.3. Definición de términos

- **Amperio:** Es la unidad de la intensidad de corriente eléctrica.
- **Calor:** Es la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos, estando a distintas temperaturas.
- **Carga:** Todo dispositivo eléctrico o electrónico conectado a una fuente de energía eléctrica; por ejemplo, focos, licuadoras, TV, radios, etc.
- **Celda:** Dispositivo mínimo de un módulo fotovoltaico que produce una diferencia de potencial cuando es expuesto a la luz.

- **Cuerpo negro:** Objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo negro.
- **Energía:** Es la capacidad de realizar un trabajo.
- **Fluido:** Tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma original.
- **Inversor:** Dispositivo que convierte la corriente C.D. (12, 24 ó 48 VDC) a corriente C.A. (120/240 VAC).
- **Irradiancia:** Valor instantáneo de la potencia luminosa recibida en un captador de un metro cuadrado de área.
- **Julio:** Es la unidad del sistema internacional de unidades para medir energía, trabajo y calor.
- **Potencia:** Describe la relación de energía por unidad de tiempo, medido en Watts, por ejemplo, 1 Watt = 1 joule/seg., pero también es el resultado de multiplicar el voltaje por la corriente (Volts X Amperes).
- **Presión:** La cantidad de fuerza aplicada por el agua ya sea forzada por una bomba, o por la gravedad.
- **Reflectancia:** Fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. En general debe tratársela como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente, y de la longitud de onda incidente.
- **Transmitancia:** Es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo.
- **Vatio:** Es la unidad de potencia del sistema internacional de unidades.
- **Voltímetro.** Dispositivo para la medición de la diferencia de potencial entre cualquiera de dos puntos en un circuito eléctrico.



### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Definición de las variables

La relación existente entre las variables de estudio fue del tipo Causa – Efecto, según la relación:

(Variable Independiente “X” → Variable Dependiente “Y”)

Tenemos:

- Variable Independiente X (causal): Redes Neuronales artificiales
- Variable Dependiente Y (efecto): Predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos

#### 3.2 Operacionalización de variables

Para la demostración y comprobación de la hipótesis se tuvo la siguiente operacionalización de las variables:

**-Variable X:** Redes Neuronales artificiales

- X<sub>1</sub>: Aprendizaje inductivo
- X<sub>2</sub>: Adaptabilidad
- X<sub>3</sub>: Flexibilidad
- X<sub>4</sub>: Procesado no lineal
- X<sub>5</sub>: Procesado en paralelo
- X<sub>6</sub>: Capacidad de generalización

**-Variable Y:** Predicción de la generación de la energía solar

- Y<sub>1</sub>: Nivel de exactitud
- Y<sub>2</sub>: Grado de error

#### 3.3 Hipótesis

##### 3.3.1 Hipótesis general

Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.

##### 3.3.2 Hipótesis específicas

H<sub>1</sub>. Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel precisión en la predicción de la generación de energía de colectores solares.

- H<sub>2</sub>. Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía.
- H<sub>3</sub>. Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los paneles fotovoltaicos.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo de investigación

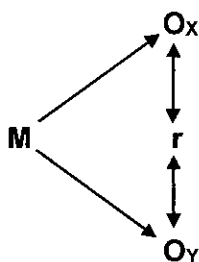
Según el objeto de estudio la investigación fue aplicada ya que utiliza los conocimientos en la práctica, para aplicarlos, en la mayoría de las veces, en provecho de la sociedad.

Según la fuente de información la investigación fue mixta, la cual participa de la naturaleza de la investigación de campo y de la investigación documental. La investigación de campo se apoyó en informaciones obtenidas directamente de la realidad y la investigación documental se basó en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, de los obtenidos y registrados por otros investigadores, en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas.

### 4.2 Diseño de la investigación

Se consideró el diseño correlacional ya que el presente estudio buscó determinar el grado de relación existente entre dos o más variables de interés en una misma muestra de sujetos o el grado de relación existentes entre fenómenos o eventos observados, según lo indica CASTRO (2003).

El diseño fue el siguiente:



Fue correlacional, puesto que permitió describir la relación de dos variables: X = Redes Neuronales Artificiales e Y = Predicción de la Generación de Energía de Colectores Solares y Paneles Fotovoltaicos.

Donde "M" es la muestra donde se realiza el estudio, los subíndices "x, y", en cada "O" nos indican las observaciones obtenidas en cada una de las dos variables distintas (x, y) y finalmente "r" hace mención a la relación existente entre variables estudiadas.

## 4.3 Población y muestra

### 4.3.1 Población

Abarcó lo siguiente:

- Sistema de 50 colectores planos de vacío de la azotea del edificio Betancourt de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España.
- Sistemas de energía solar para suelos de invernadero, de las instalaciones de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real (España), perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha. El detalle de los sistemas fue el siguiente:
  - Sistema de colectores planos: Conformado por cuatro colectores planos.
  - Sistema de concentradores cilindros parabólicos: Conformado por seis colectores cilindros parabólicos, de los cuales 3 eran con tubo absorbente sin aislar y tres con el tubo absorbente aislado.
  - Sistemas fotovoltaicos: Conformado por 30 celdas fotovoltaicas.
- Tres huertos solares de España, conformados por:
  - Huerto Solar de la Escacena del Campo, provincia de Huelva; constituido por las siguientes plantas solares:
    - Planta solar de 115.92 kW
    - Planta solar de 132.48 kW
    - Planta solar de 66.24 kW
    - Planta solar de 41.40 kW
  - Huerto Solar de la Palma del Condado, provincia de Huelva; constituido por las siguientes plantas solares:
    - Planta solar de 112 kW
    - Planta solar de 111.52 kW
    - Planta solar de 112.20 kW
    - Planta solar de 112.04 kW
  - Huerto Solar de la Alcalá del río, provincia de Sevilla; constituido por las siguientes plantas solares:
    - Planta solar de 113.28 kW

- Planta solar de 75.12 kW
- Planta solar de 113.52 kW
- Planta solar de 75.24 Kw

#### 4.3.2 Delimitación

##### 4.3.2.1 Espacial

Las principales fuentes de información para las experimentaciones provinieron de dos países con mayor desarrollo en la implementación de las tecnologías solares para la generación de energía; como son los casos de España y México, pero la implicancia es de nivel general para todos los países.

##### 4.3.2.2 Temporal

El tiempo del inicio hasta la culminación de la investigación fue de aproximadamente tres años; desde octubre del 2014 hasta septiembre del 2017.

##### 4.3.3 Tipo de muestra

El método de muestreo fue no probabilístico, es decir no fue aleatorio sino del tipo intencional. En este muestreo se ha tenido un esfuerzo deliberado de obtener las muestras más representativas, a través de la selección para la muestra de casos típicos; seleccionando los casos más convenientes para el propósito del estudio.

##### 4.3.4 Tamaño de la muestra

La muestra estuvo conformada por los siguientes elementos:

**CUADRO N° 4.1  
SISTEMA DE COLECTORES PLANOS DE VACÍO**

SISTEMA SOLAR	CARACTERÍSTICAS	UBICACIÓN	FECHAS DE ESTUDIO
SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PLANOS	Conformado por 50 colectores solares planos de vacío de 2 m <sup>2</sup> de área.	La azotea del edificio Betancourt en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España.	Datos desde el 30 de junio al 11 de julio del 2007

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO N° 4.2**  
**SISTEMAS DE CONCENTRADORES PARABOLICOS PARA SUELOS DE**  
**INVERNADERO**

<b>SISTEMA SOLAR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UBICACIÓN</b>
SISTEMA DE CONCENTRADORES CILÍNDRICOS PARABÓLICOS CON EL TUBO ABSORBENTE SIN AISLAR (CCPSA)	Conformado por tres concentradores cilíndrico parabólicos, con el tubo absorbente sin aislar. Con placa de acero inoxidable anclada a la estructura de aluminio con sección transversal en forma de parábola.	En las instalaciones de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real (España), perteneciente a la Universidad de Castilla- La Mancha.
SISTEMA DE CONCENTRADORES CILÍNDRICOS PARABÓLICOS CON EL TUBO ABSORBENTE AISLADO (CCPA)	Conformado por tres concentradores cilíndrico parabólicos, con el tubo absorbente aislado. Con placa de acero inoxidable anclada a la estructura de aluminio con sección transversal en forma de parábola.	En las instalaciones de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real (España), perteneciente a la Universidad de Castilla- La Mancha.

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO N° 4.3**  
**PLANTAS SOLARES DE PANELES FOTOVOLTAICOS**

<b>SISTEMA SOLAR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UBICACIÓN</b>
PLANTA SOLAR 112.04KW	Constituido por 520 paneles fotovoltaicos policristalinos de seguimiento fijo.	La Palma del Condado, Provincia de Huelva, España
PLANTA SOLAR 75.24KW	Constituido por 342 paneles fotovoltaicos monocristalinos de dos ejes.	Alcalá del Río, Provincia de Sevilla, España

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1 Técnicas**

Las técnicas fueron las siguientes:

- Pruebas estandarizadas:** En estas pruebas se cumplieron determinadas normas para poder aplicarlas y para la interpretación de sus resultados.
- Análisis documental:** Implicó el análisis de las normas, información bibliográfica y otros aspectos relacionados con la investigación.

**-Análisis de Contenido:** Permitió reducir y sistematizar la información acumulada (documentos escritos, films, grabaciones, etc.) para procesarlos como datos, respuestas o valores correspondientes a las variables que se han investigado.

**-Tecnología de la investigación:** Fue una herramienta para la búsqueda de información el internet; lo que permitió encontrar registros, documentos y publicaciones importantes para la investigación.

#### 4.4.2 Instrumentos

Los instrumentos fueron:

**-Software Matlab 2015:** Para el procesamiento de los ensayos de las redes neuronales.

**-Cuaderno de Registros:** Para el registro de los datos de manera ordenada y resumida, para la revisión en cualquier momento de los datos más resaltantes.

**-Fichas de contenido:** Permitió la anotación de las ideas extraídas de los trabajos leídos. Fue indispensable para redacción de la introducción, el marco teórico y la discusión de los trabajos.

**-Listas de cotejo:** Fueron los listados de los distintos aspectos a evaluar al lado de los cuales se pudo hacer una calificación con un determinado puntaje o concepto. Fue una herramienta para la observación sistemática de varios procesos.

**-Equipo de codificación y compilación:** Procesó los cómputos y tabulaciones de los datos.

#### 4.4.3 Fuentes

Fueron las siguientes:

**-Fuentes primarias:** Constituyeron los registros de las energías de colectores solares y paneles fotovoltaicos de tres investigaciones; además de los resultados de las pruebas y ensayos estandarizados de las redes neuronales realizadas en esta investigación.

**-Fuentes secundarias:** Fueron las fuentes que ayudaron, facilitaron y complementaron la información de las fuentes primarias a través de otras investigaciones, libros, documentos, revistas, etc.

#### **4.5 Procedimiento de recolección de datos**

Los datos para el procesamiento de las predicciones fueron extraídos de las energías solares generadas de las siguientes investigaciones:

- Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío, realizada por: Víctor Salguero Fernández (Ver Anexo N°2).
- Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero, realizada por: Caridad Pérez de los Reyes (Ver Anexo N°3).
- Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos, realizada por: Olalla Fernández Zamudio (Ver Anexo N°4).

De acuerdo a los objetivos de la investigación se seleccionaron las mediciones y resultados de las investigaciones mencionadas.

#### **4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos**

Constó de lo siguiente:

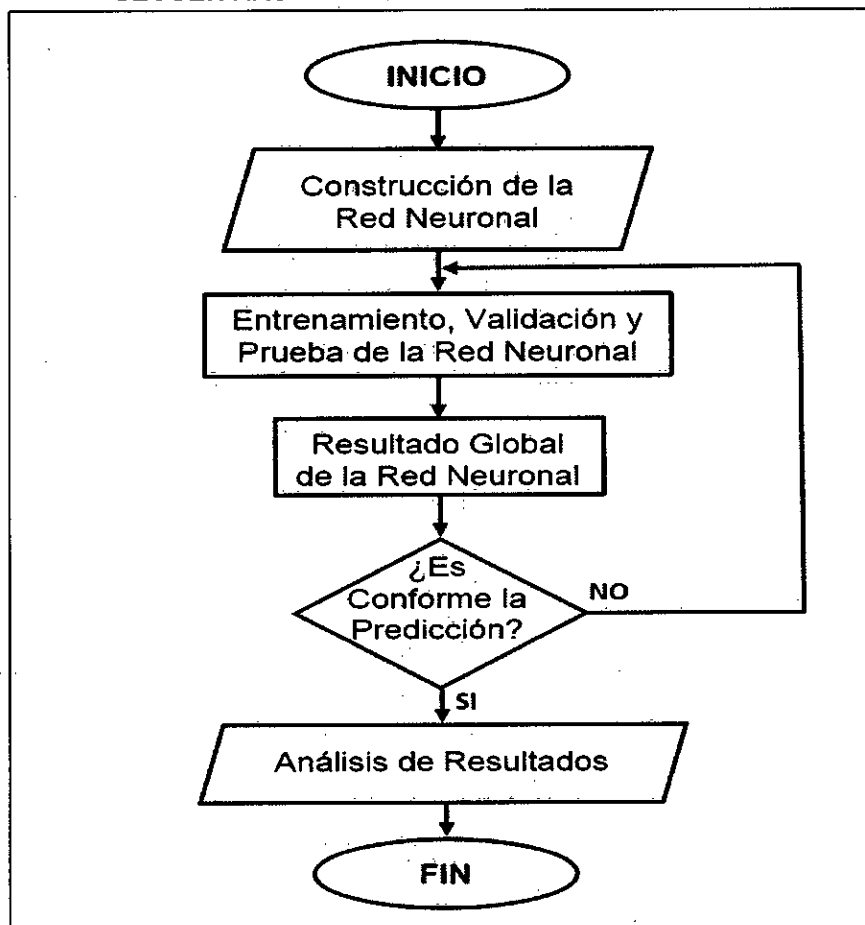
- a. Una vez finalizada la fase de recolección de los datos, se procedió a la codificación de los mismos y a su tabulación mediante el registro de los datos obtenidos, para todo ello se utilizó, la hoja de cálculos Microsoft Excel en su versión 2013.
- b. Con el objeto de depurar la base de datos y detectar posibles errores en la transcripción de los datos, se procedió a verificar con el cuaderno de registros y una vez verificado, se realizó la corrección pertinente en los casos que fueron necesarios.
- c. Los datos asignados estuvieron divididos de la siguiente manera:
  - El 70% de los datos fueron usados para el entrenamiento, el cual fue el indicativo del grado de ajuste de la red neuronal para la predicción.
  - El 15% de los datos fueron usados para validar que la red neuronal está generalizando.
  - El 15% de los datos fueron usados para hacer una prueba completamente independiente de la generalización de la red neuronal.
- d. Para cada hipótesis se utilizó el software Matlab 2015 para las predicciones de los tres modelos de redes neuronales para dos casos separados. Los modelos de redes neuronales para las predicciones fueron los siguientes:



- i) Modelo NARX: Para predecir los valores futuros de una serie de tiempo  $y(t)$  desde los valores pasados de esa serie de tiempo y valores pasados de una segunda serie de tiempo  $x(t)$ .
- ii) Modelo NAR: Para predecir los valores futuros de la serie temporal  $y(t)$  a partir de valores pasados de esa serie. Solo hay una serie de datos involucrados.
- iii) Modelo Entrada Salida no Lineal: Para predecir los valores futuros de la serie  $y(t)$ , a partir de los valores  $x(t)$ , pero sin conocimiento de los valores anteriores de  $y(t)$ .

La secuencia de cada una de las siguientes predicciones realizadas con las redes neuronales se ilustra en la siguiente figura:

**FIGURA N° 4.1**  
**SECUENCIAS DE PASOS PARA CADA PREDICCIÓN**



Fuente: Elaboración propia

- e. Se diagramaron los rendimientos de las redes neuronales, además de las regresiones de los resultados obtenidos y otros instrumentos de exposición de datos para la mejor presentación de la información obtenida. Los apéndices desde el N°1 hasta el apéndice N° 18 detallan la funciones Matlab de cada predicción realizada).
- f. Para la contrastación de hipótesis, se utilizó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis con nivel de significancia de 0.01, en base al coeficiente de correlación "R" de los resultados globales promedio de cada modelo de red neuronal estudiado.

## V. RESULTADOS

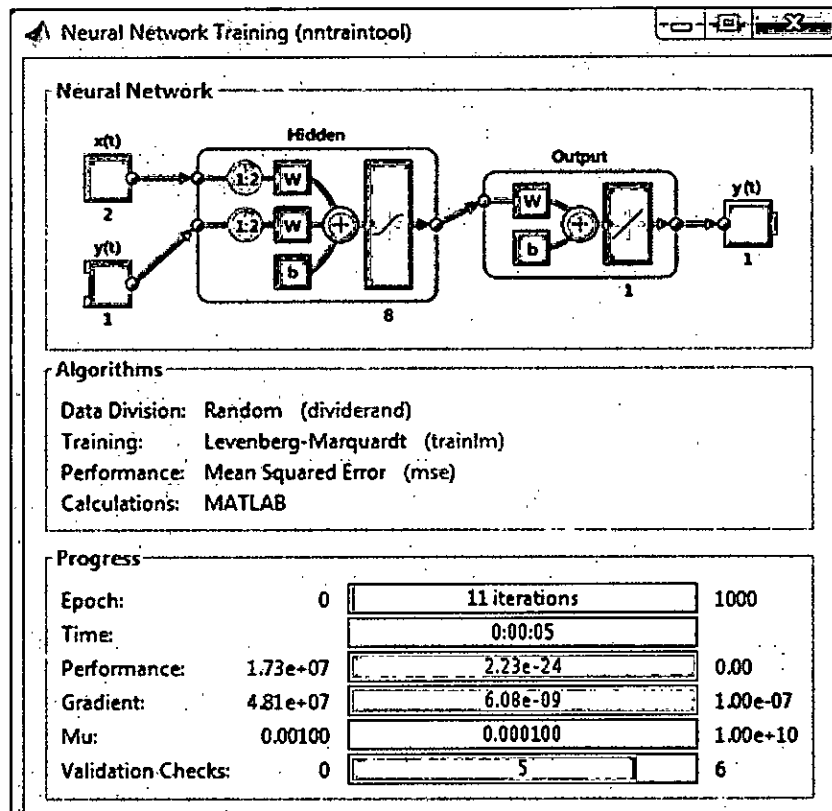
### 5.1 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 1

#### 5.1.1 Resultados del modelo NARX

##### a) Caso 1

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con ocho neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

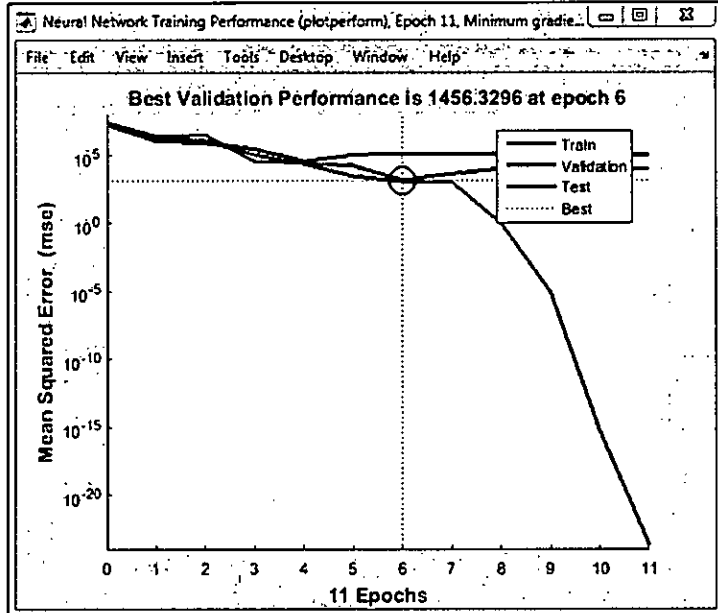
FIGURA N° 5.1  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX



Fuente: Elaboración propia

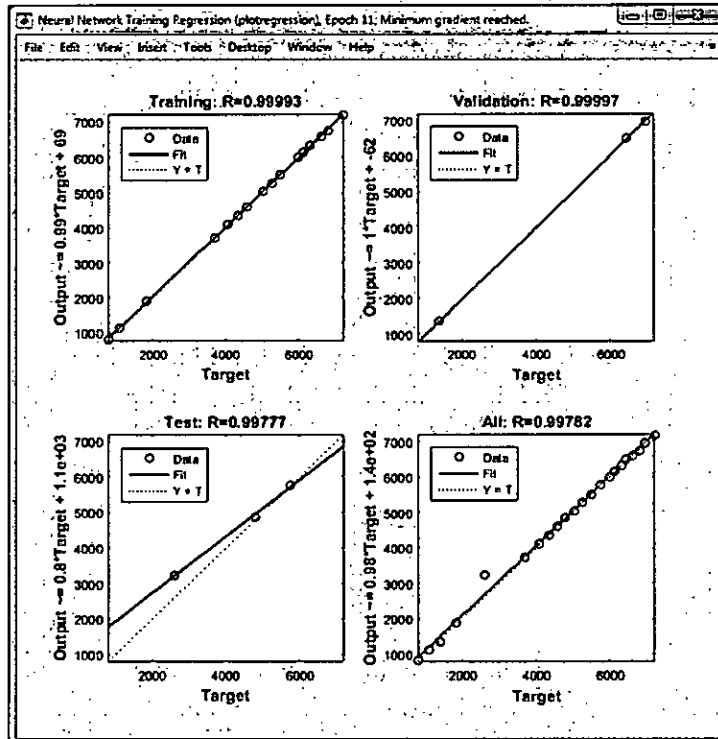
La Figura N°5.2 muestra el rendimiento de la red NARX hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 6, con el valor 1456.33. La Figura N°5.3 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.998.

**FIGURA N° 5.2**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.3**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**

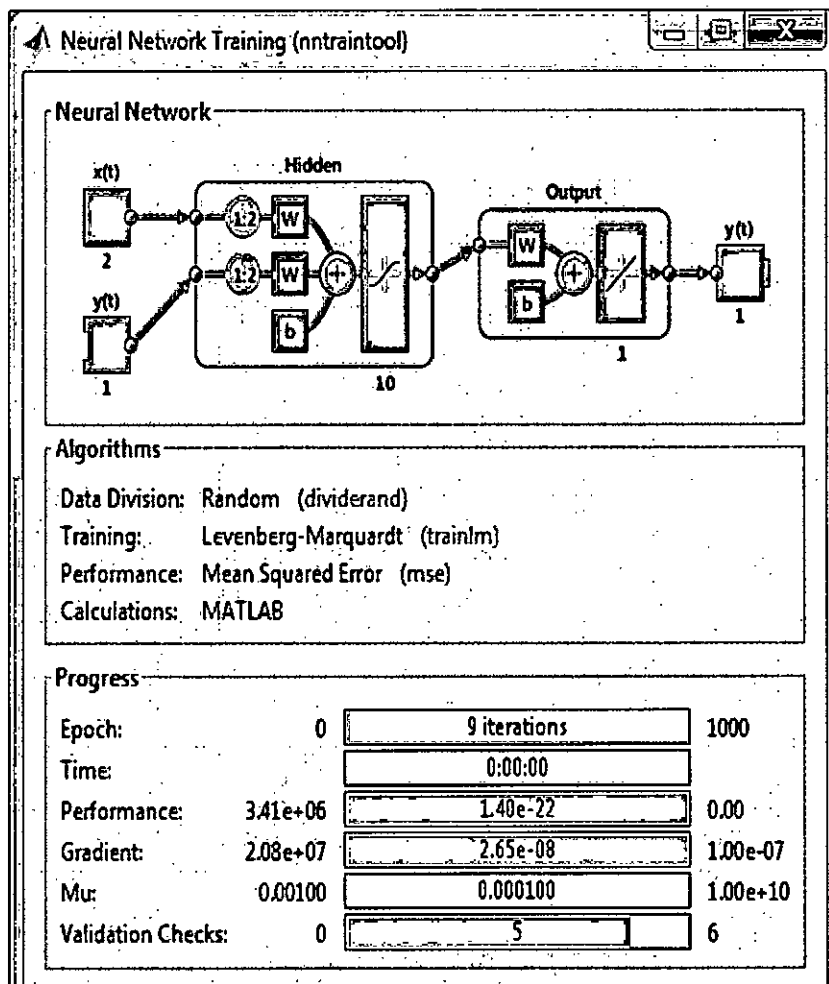


Fuente: Elaboración propia

**b) Caso 2**

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

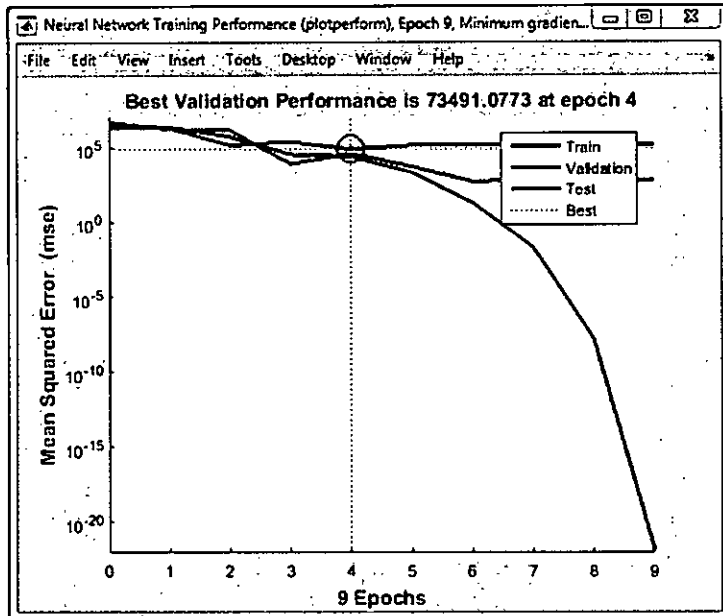
**FIGURA N° 5.4  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

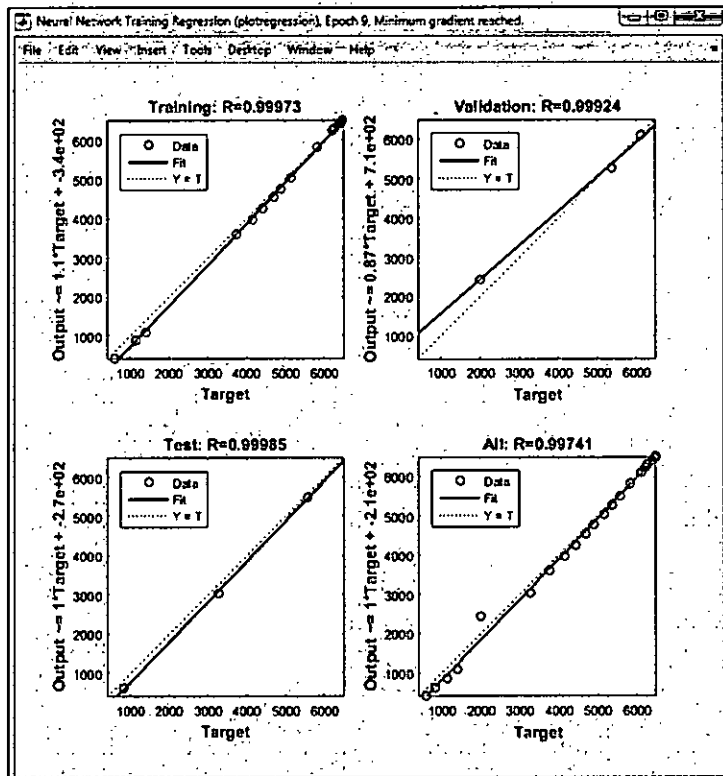
La Figura N°5.5 muestra el rendimiento de la red NARX, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 4, con el valor de 73491.08. La Figura N°5.6 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.997.

**FIGURA N° 5.5**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.6**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**



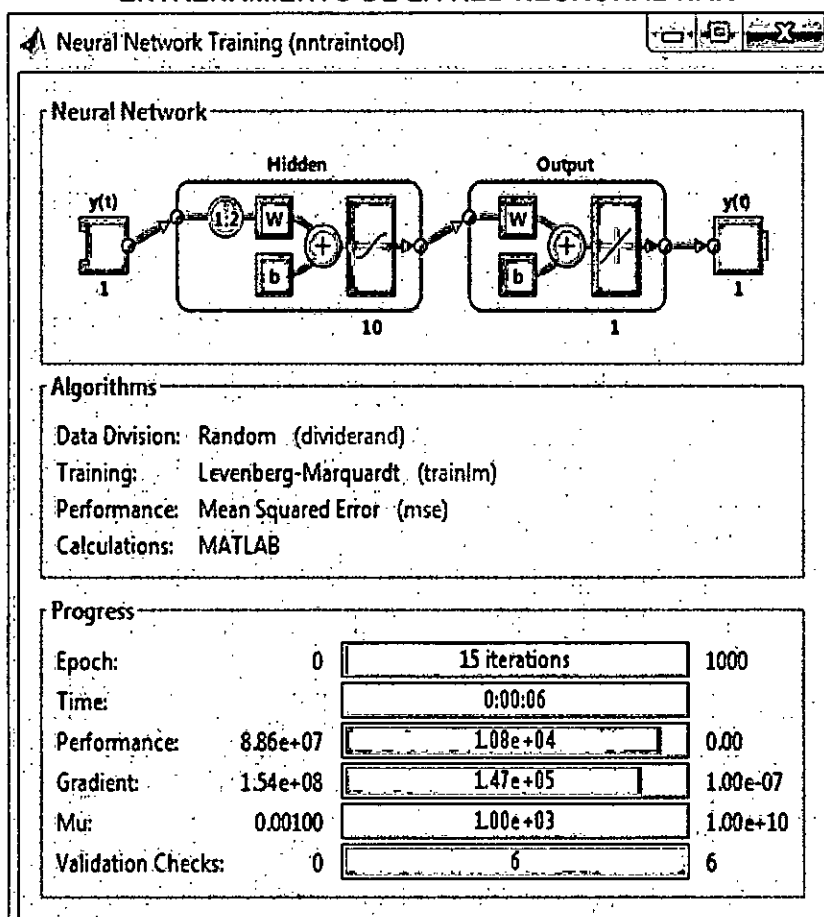
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Resultados del modelo NAR

#### a) Caso 1

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

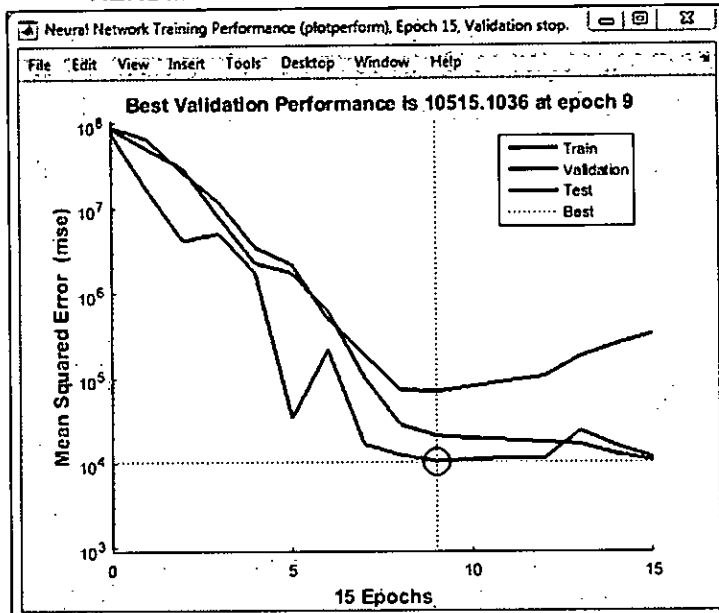
**FIGURA N° 5.7  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

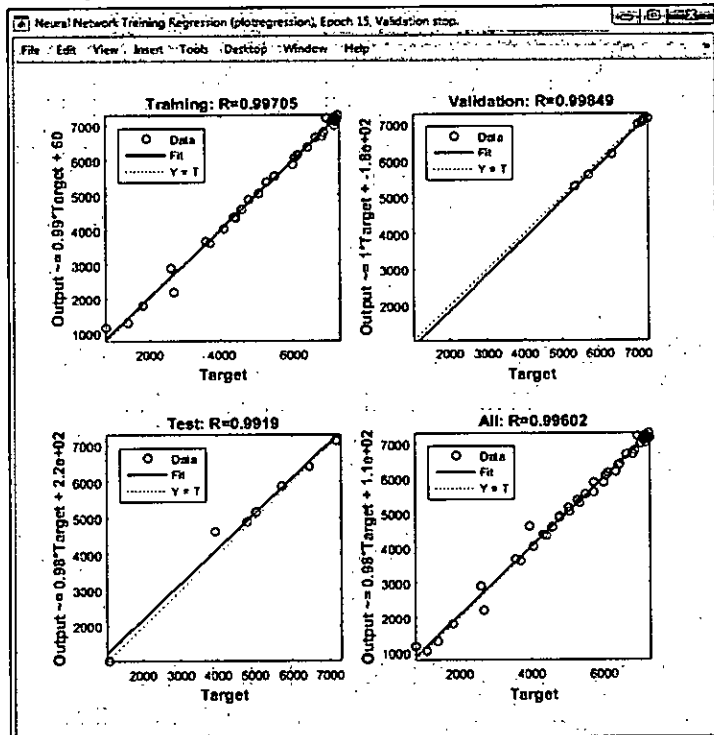
La Figura N°5.8 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 9, con el valor de 10515.1. La Figura N°5.9 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.996.

**FIGURA N° 5.8**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.9**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**



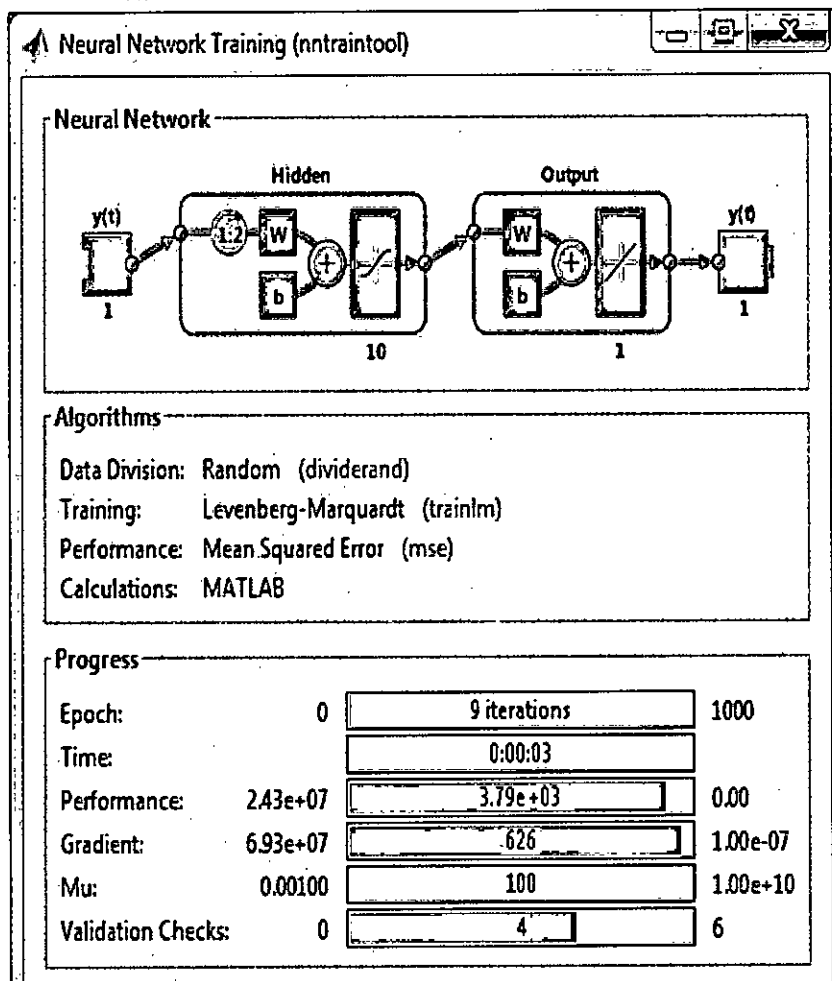
Fuente: Elaboración propia



**b) Caso 2**

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

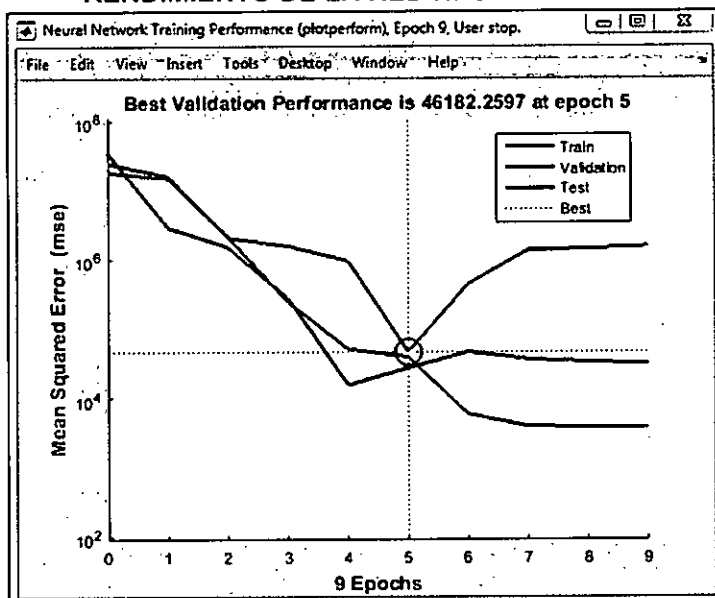
**FIGURA N° 5.10  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

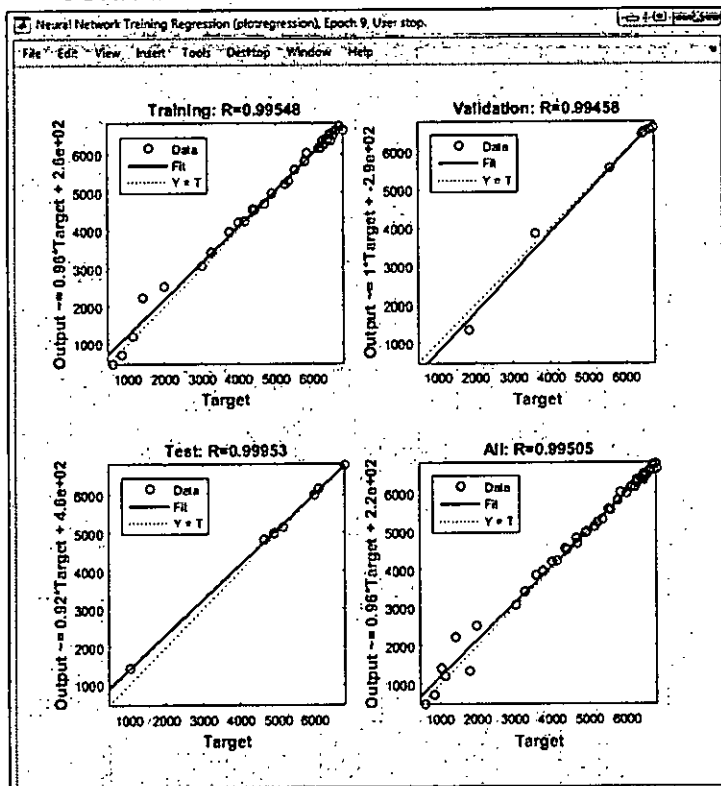
La Figura N°5.11 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 5, con el valor de 46182.26. La Figura N°5.12 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.995.

**FIGURA N° 5.11**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.12**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**



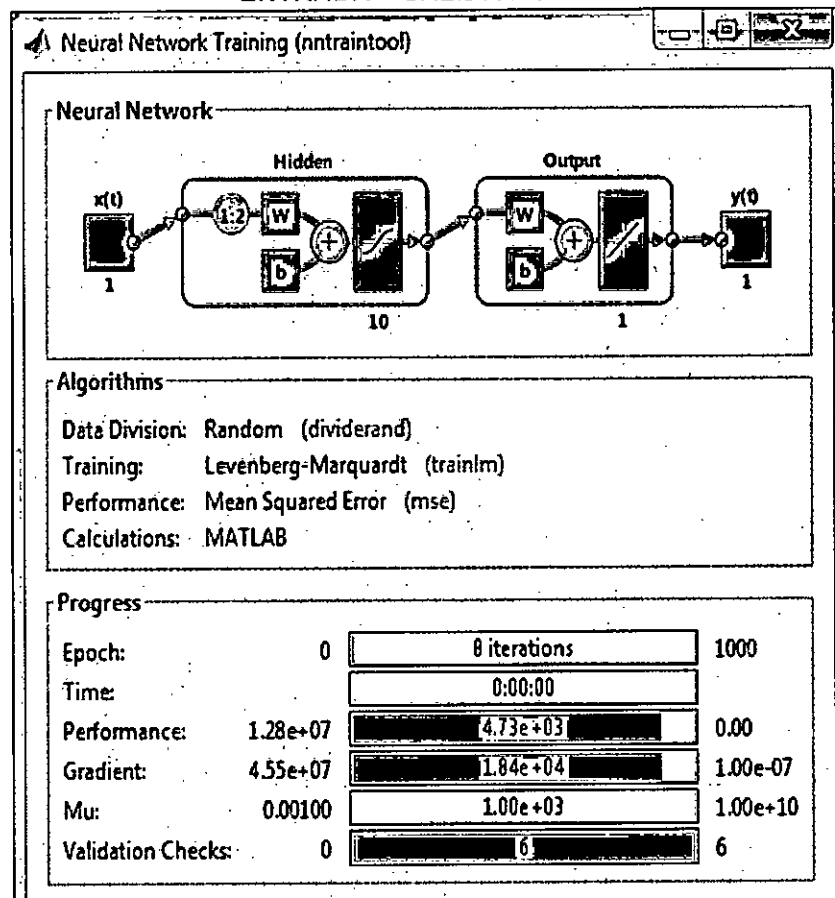
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no lineal

#### a) Caso 1

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

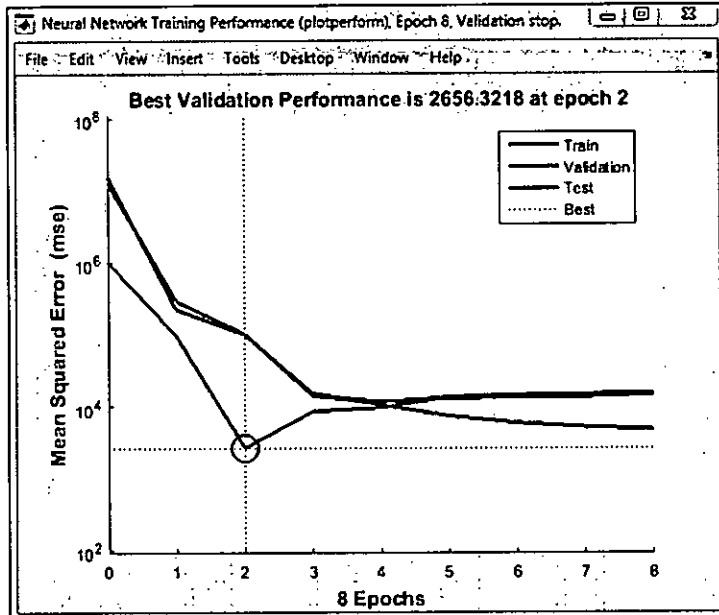
**FIGURA N° 5.13  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA – SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

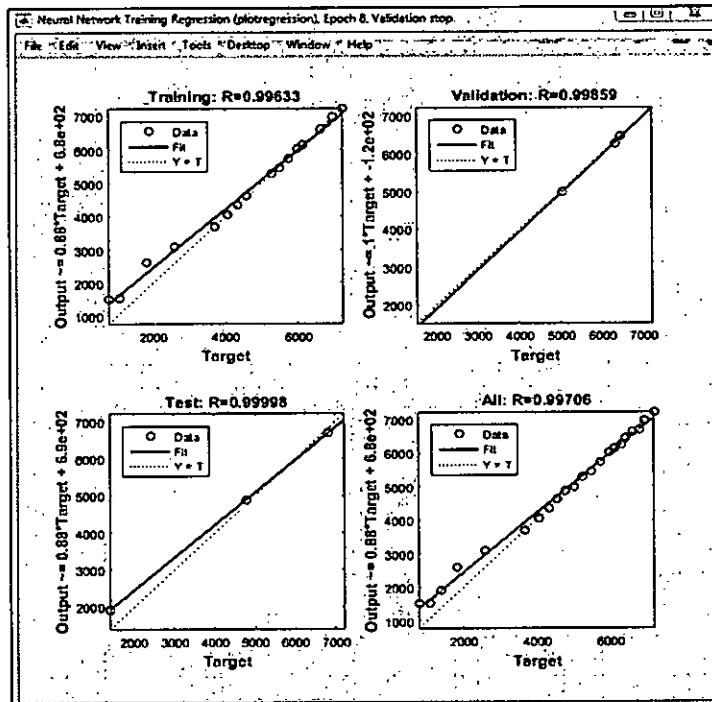
La Figura N°5.14 siguiente muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, con el valor 2656.32. La Figura N°5.15 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.997.

**FIGURA N° 5.14**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA – SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.15**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA – SALIDA NO LINEAL**

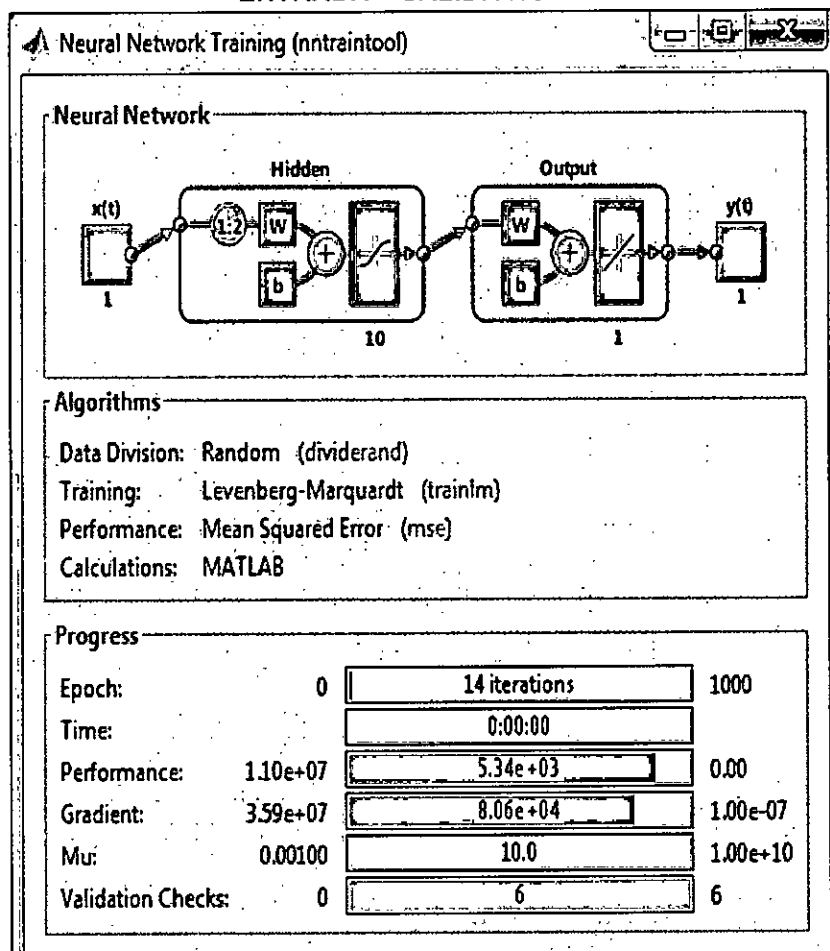


Fuente: Elaboración propia

b) Caso 2

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

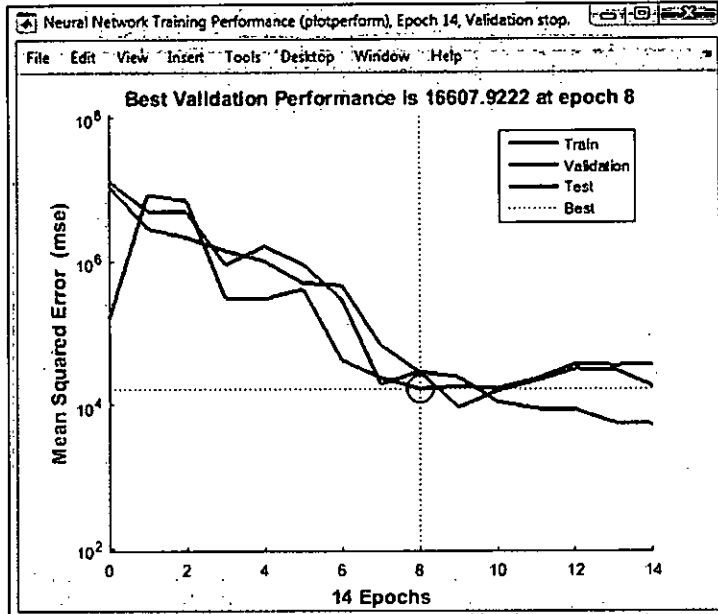
FIGURA N° 5.16  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA – SALIDA NO LINEAL



Fuente: Elaboración propia

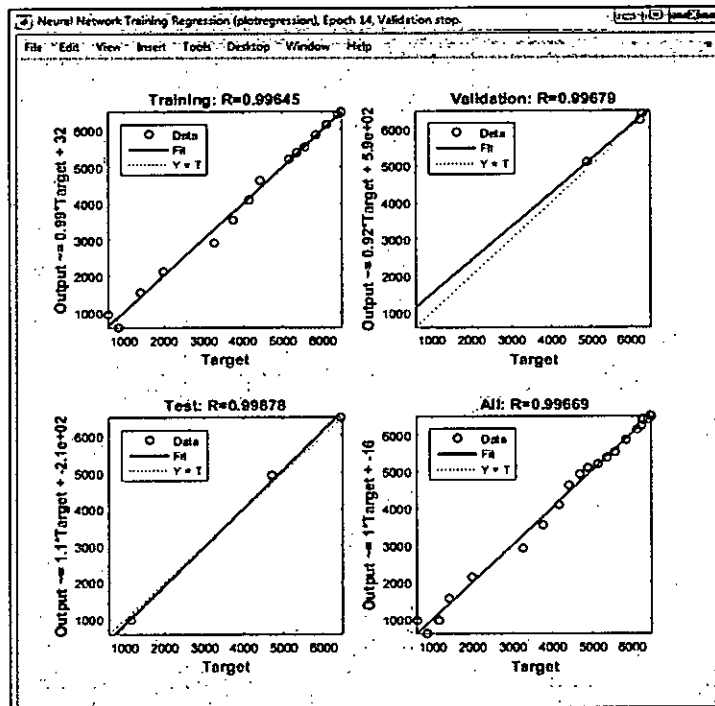
La Figura N°5.17 muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 8, con el valor 16607.92. La Figura N°5.18 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.997.

**FIGURA N° 5.17**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA – SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.18**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA – SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

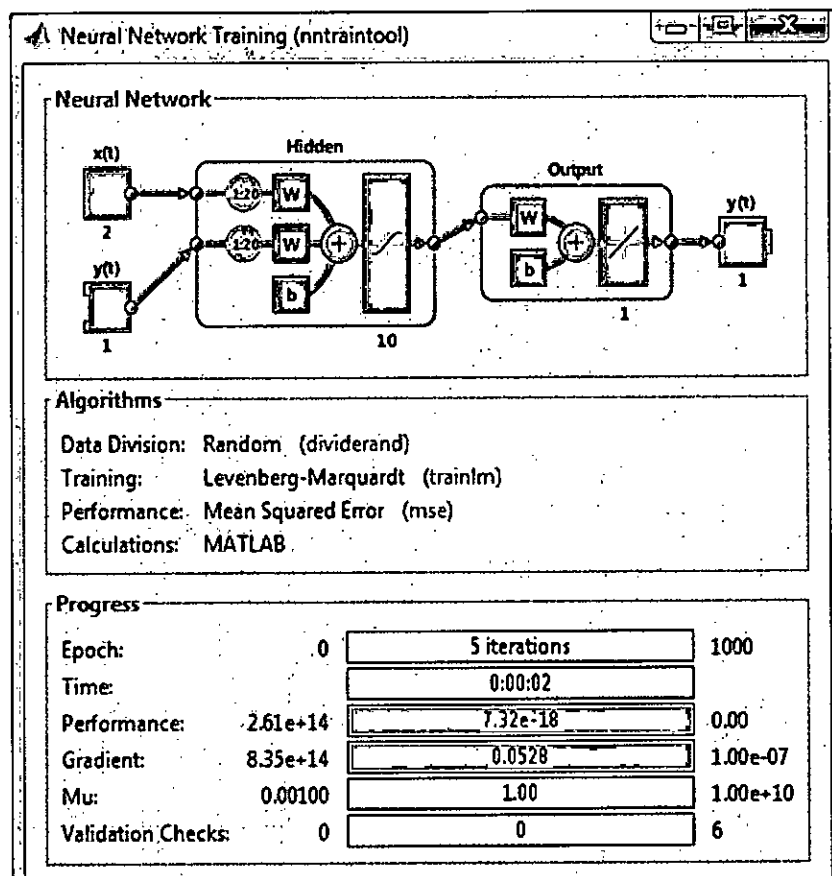
## 5.2 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 2

### 5.2.1 Resultados del modelo NARX

#### a) Caso 1

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y veinte retardos, como muestra la figura siguiente.

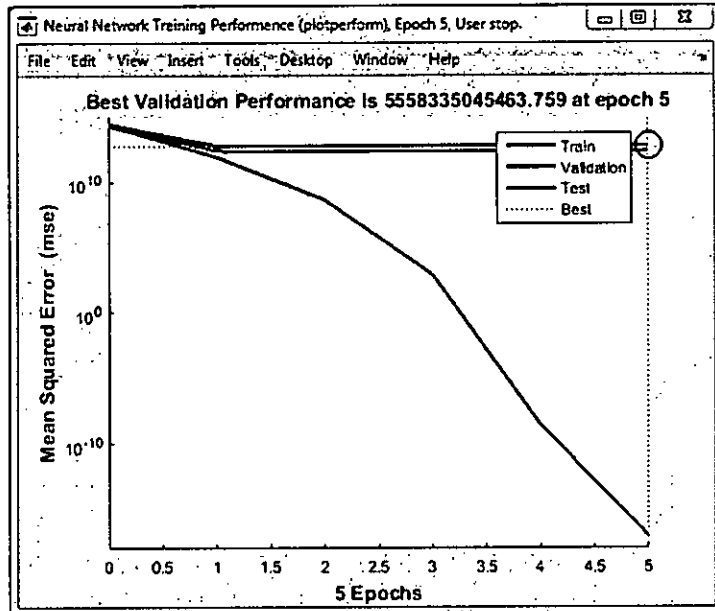
FIGURA N° 5.19  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX



Fuente: Elaboración propia

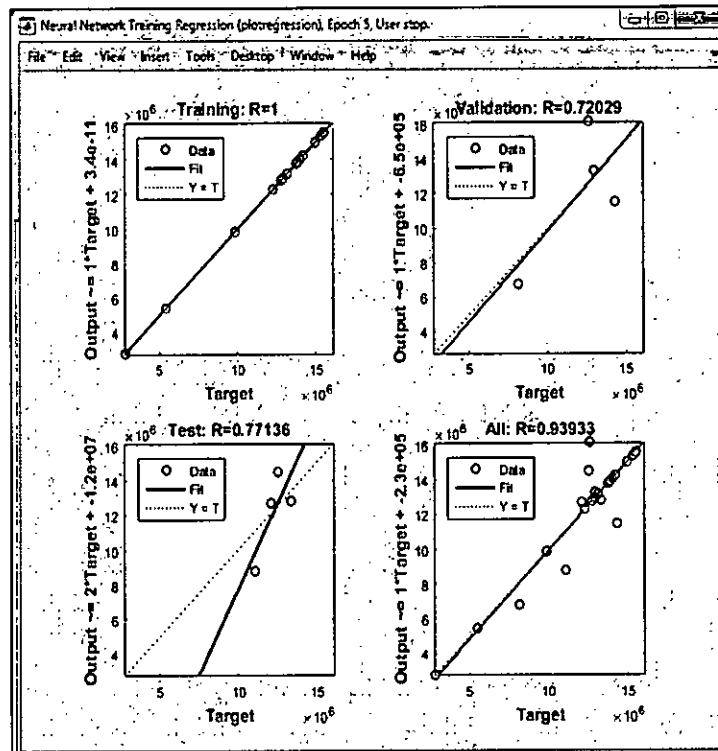
La Figura N°5.20 muestra el rendimiento de la red NARX, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 5, con el valor de 5558335045463.759. La Figura N°5.21 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.939.

**FIGURA N° 5.20**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.21**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**



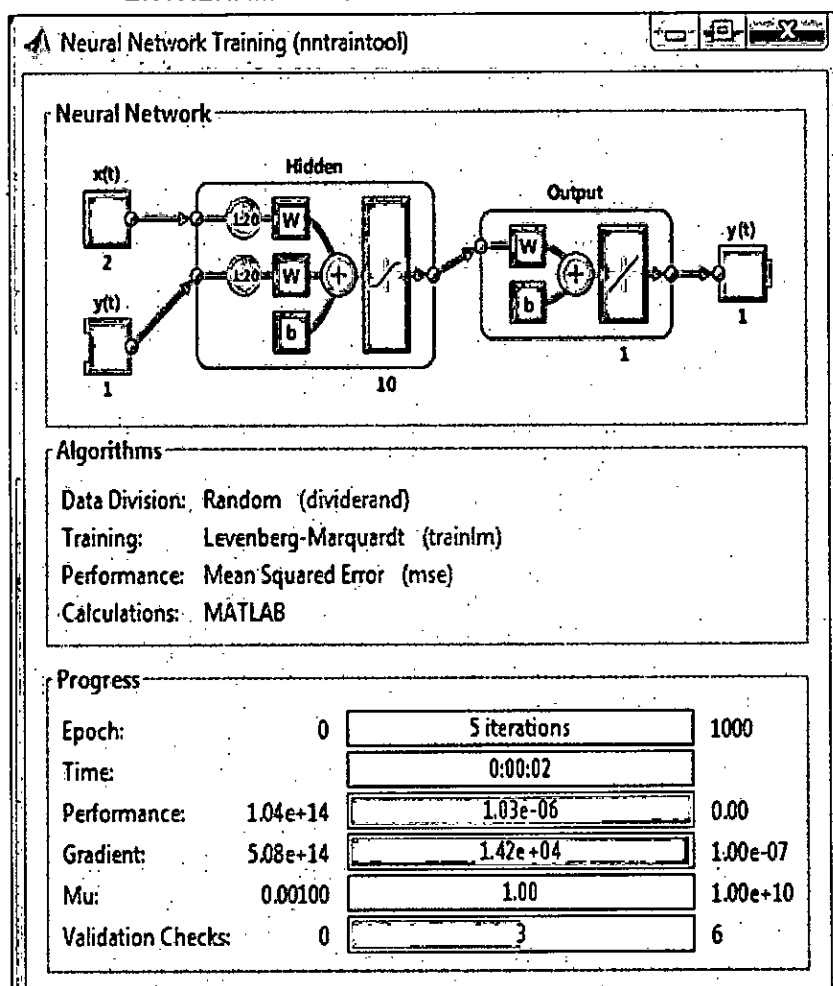
Fuente: Elaboración propia



**b) Caso 2**

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con diez neuronas ocultas y veinte retardos, como muestra la figura siguiente.

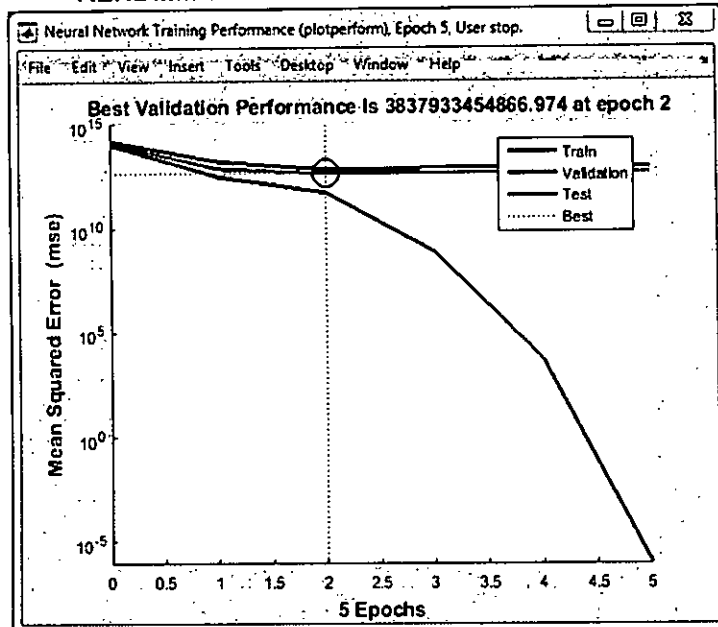
**FIGURA N° 5.22  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

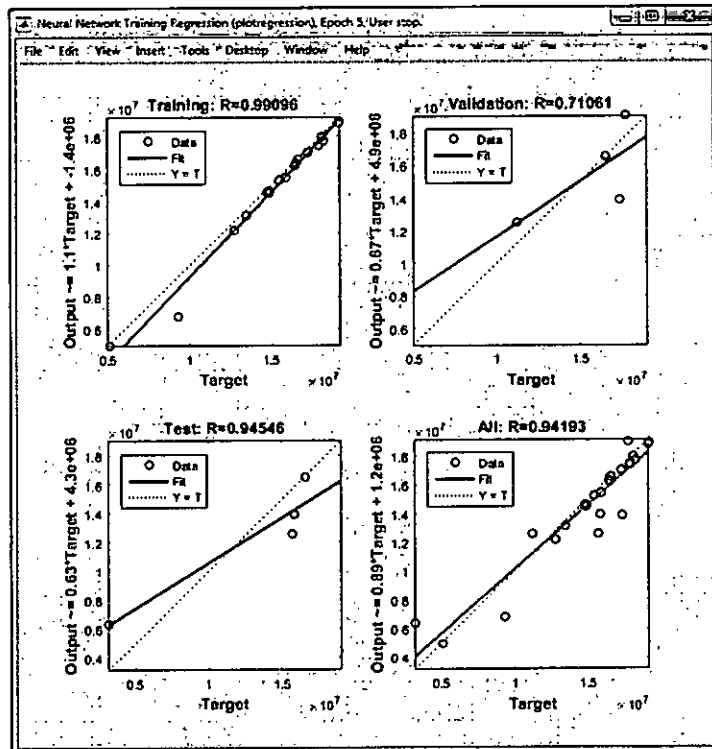
La Figura N°5.23 muestra el rendimiento de la red NARX, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, obteniéndose el valor 3837933454866.974. La Figura N°5.24 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.942.

**FIGURA N° 5.23**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.24**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**



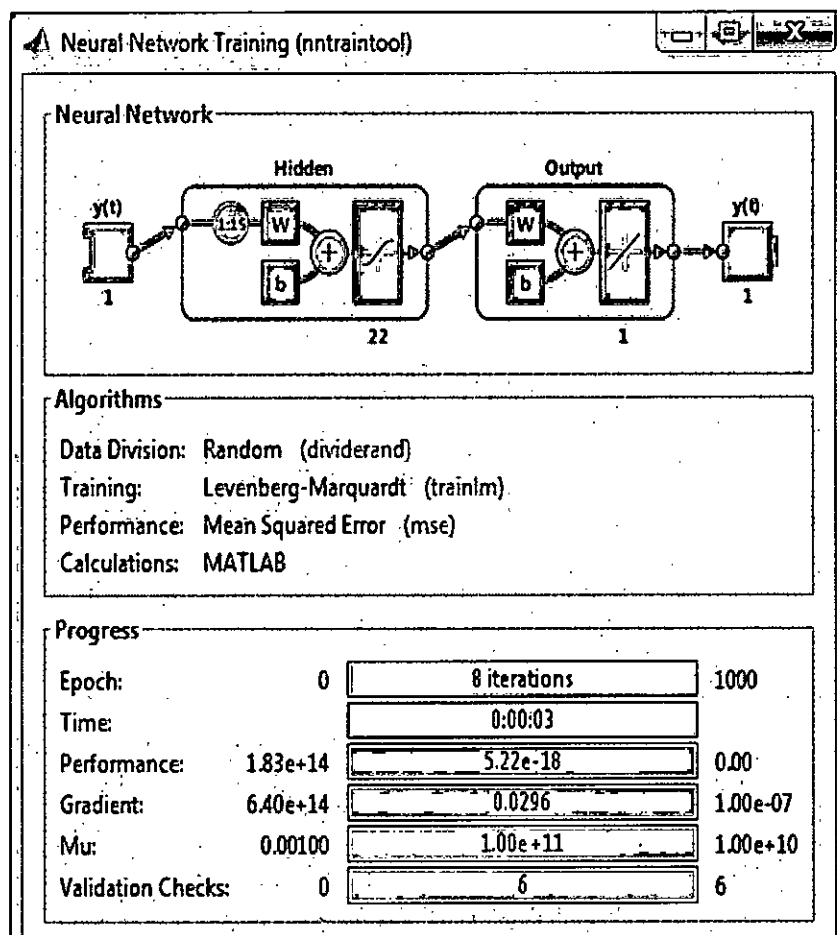
Fuente: Elaboración propia

## 5.2.2 Resultados del modelo NAR

### a) Caso 1

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con veintidós neuronas ocultas y quince retardos, como muestra la figura siguiente.

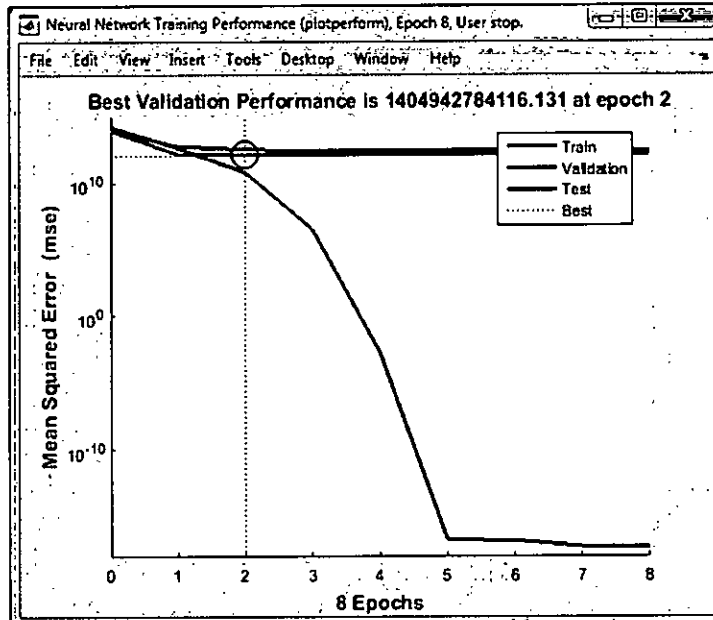
FIGURA N° 5.25  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR



Fuente: Elaboración propia

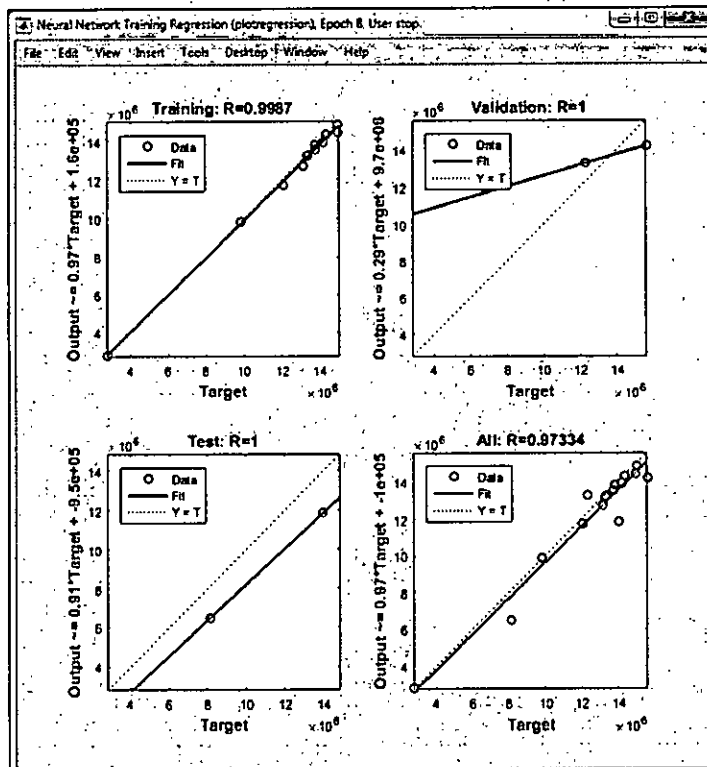
La Figura N°5.26 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, obteniéndose el valor de 1404942784116.13. La Figura N°5.3 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.973.

**FIGURA N° 5.26**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.27**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**

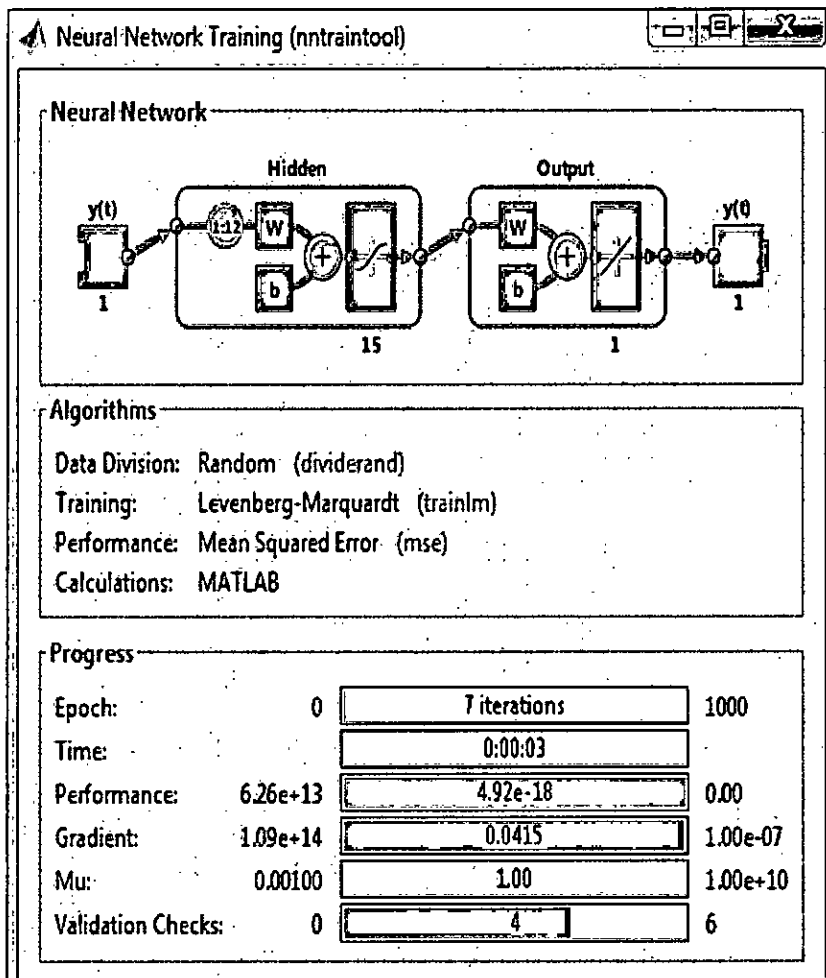


Fuente: Elaboración propia

**b) Caso 2**

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con quince neuronas ocultas y doce retardos, como muestra la figura siguiente.

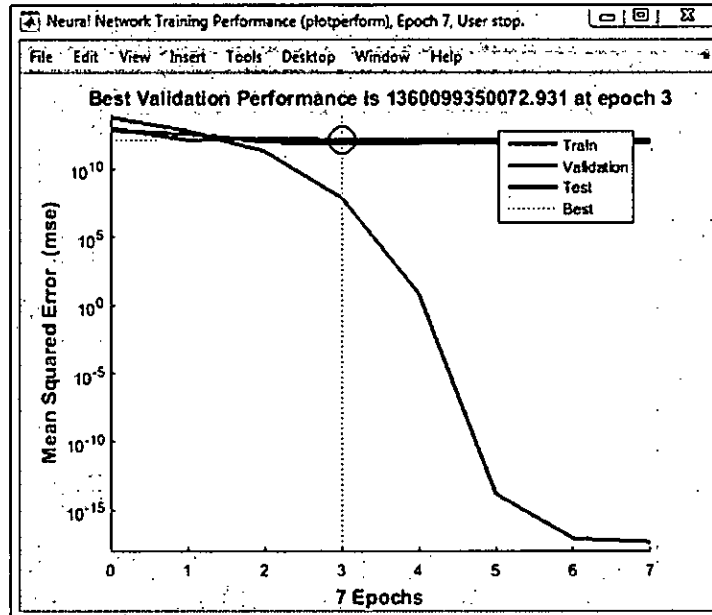
**FIGURA N° 5.28  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

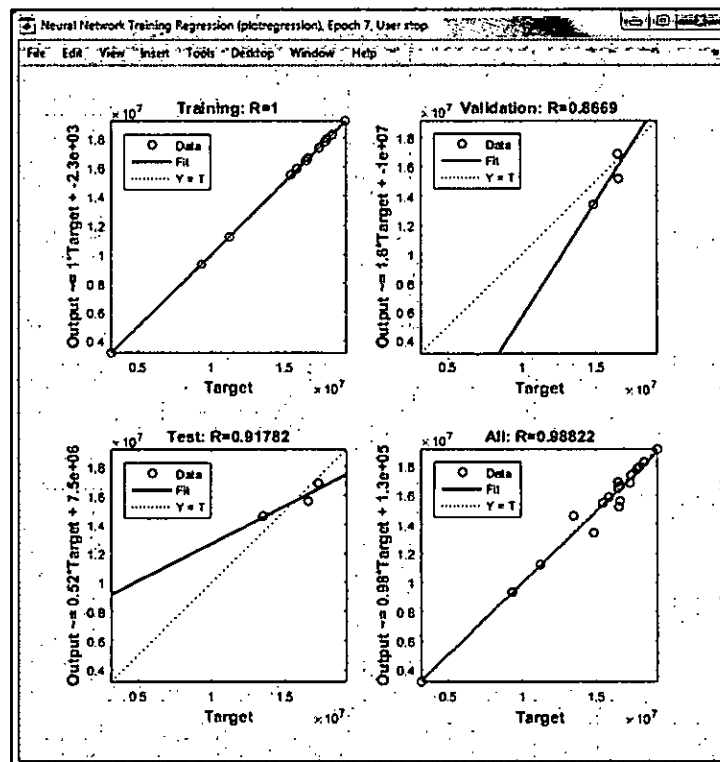
La Figura N°5.29 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 3, obteniéndose el valor 1360099350072.93. La Figura N°5.3 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.988.

**FIGURA N° 5.29**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.30**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**



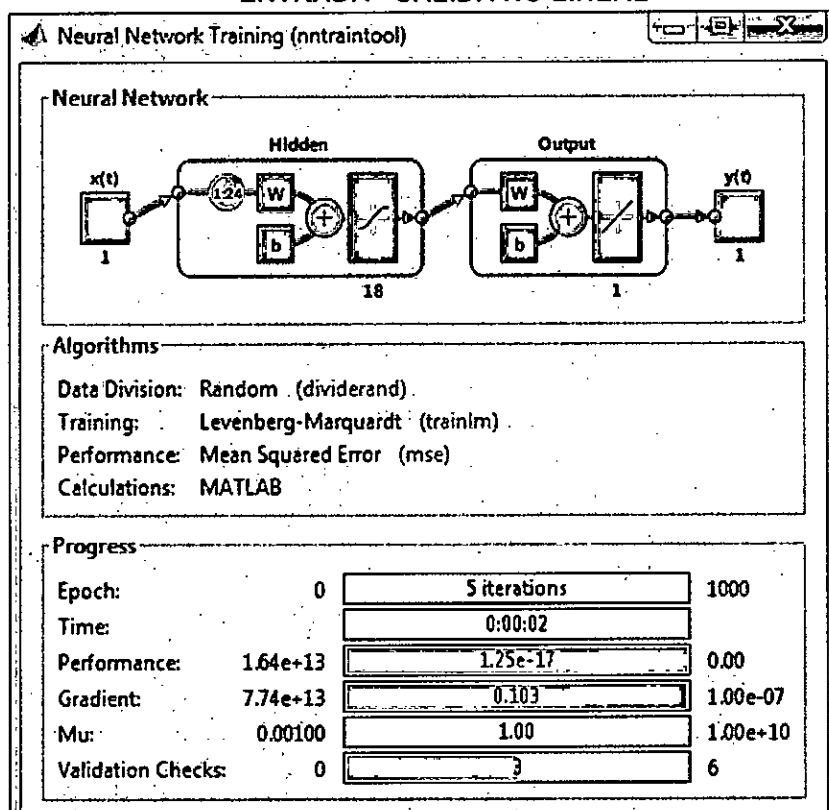
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no lineal

#### a) Caso 1

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con dieciocho neuronas ocultas y veinticuatro retardos, como muestra la figura siguiente.

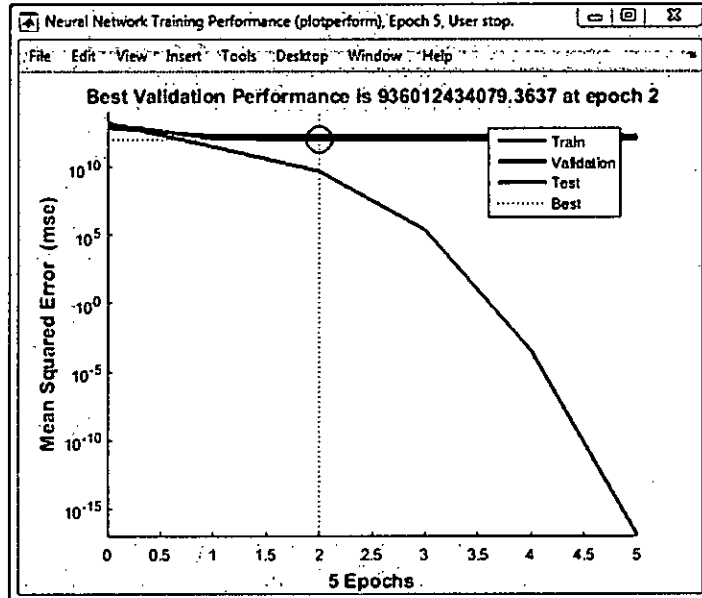
FIGURA N° 5.31  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA - SALIDA NO LINEAL



Fuente: Elaboración propia

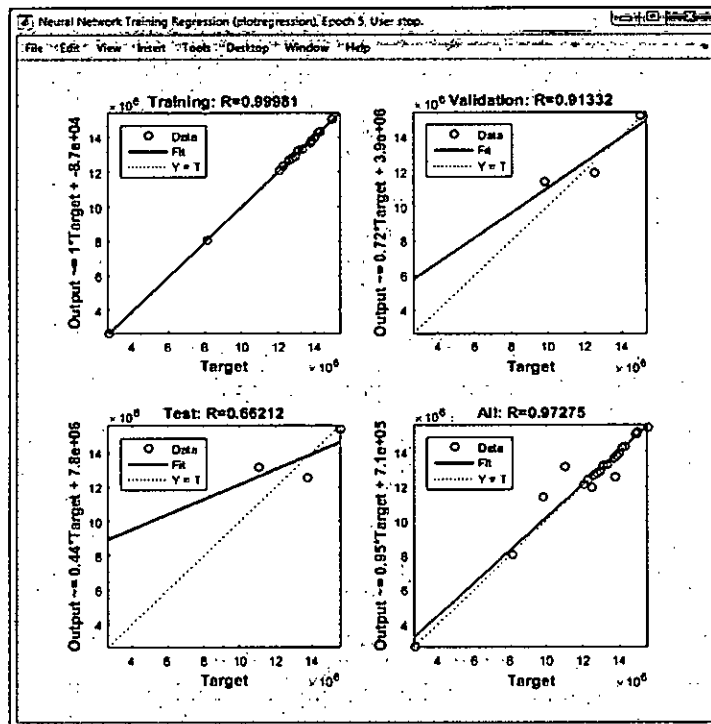
La Figura N°5.32 muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, obteniéndose el valor 936012434079.36. La Figura N°5.33 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.973.

**FIGURA N° 5.32**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.33**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



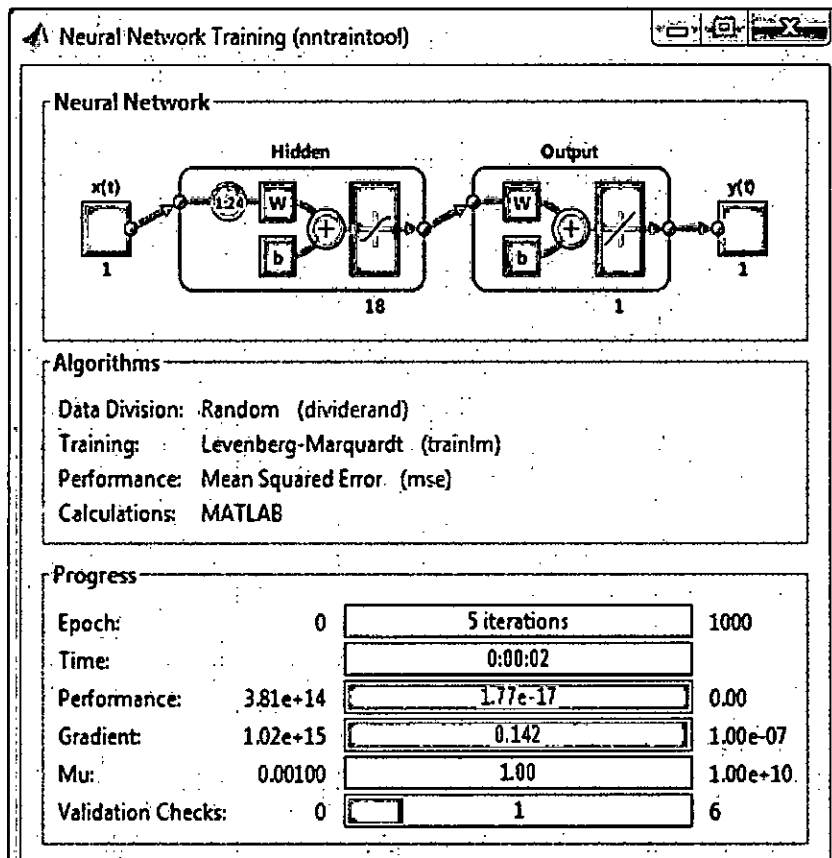
Fuente: Elaboración propia



**b) Caso 2**

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con dieciocho neuronas ocultas y veinticuatro retardos, como muestra la figura siguiente.

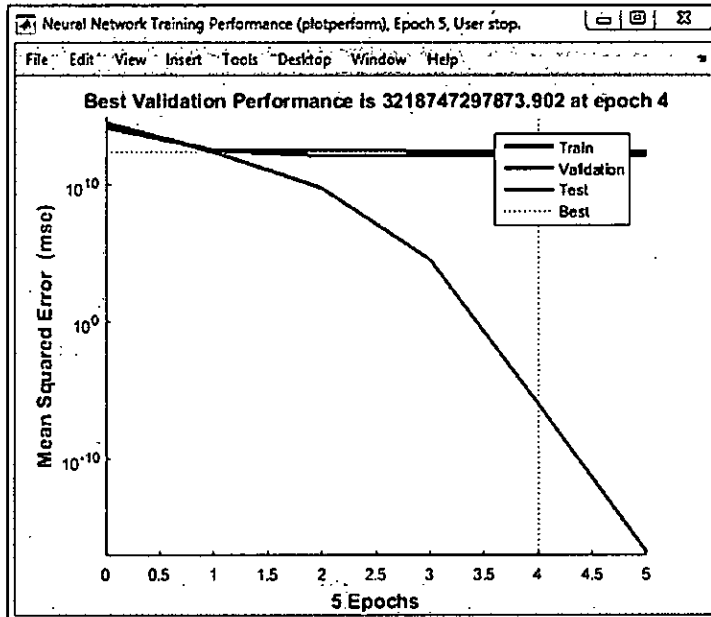
**FIGURA N° 5.34  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

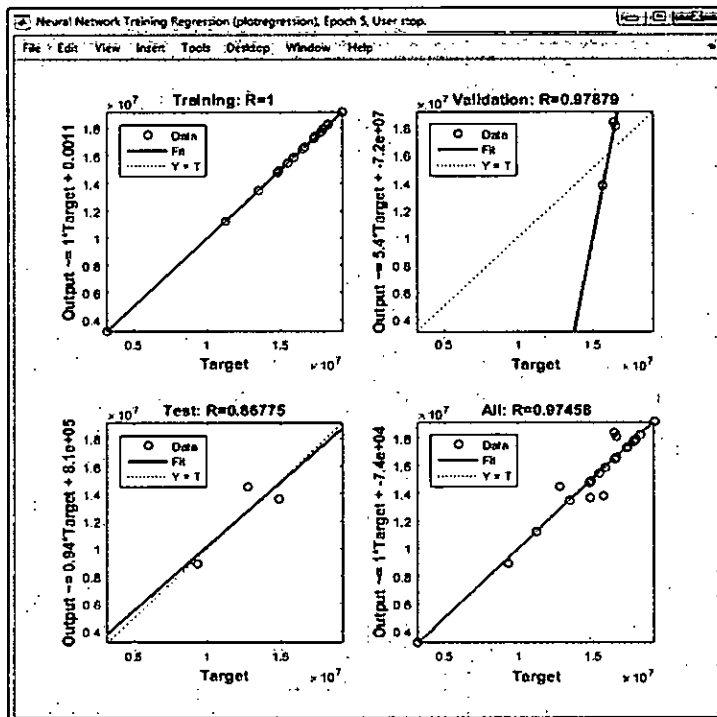
La Figura N°5.35 muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 4, obteniéndose el valor 3218747297873.9. La Figura N°5.36 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.975.

**FIGURA N° 5.35**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.36**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

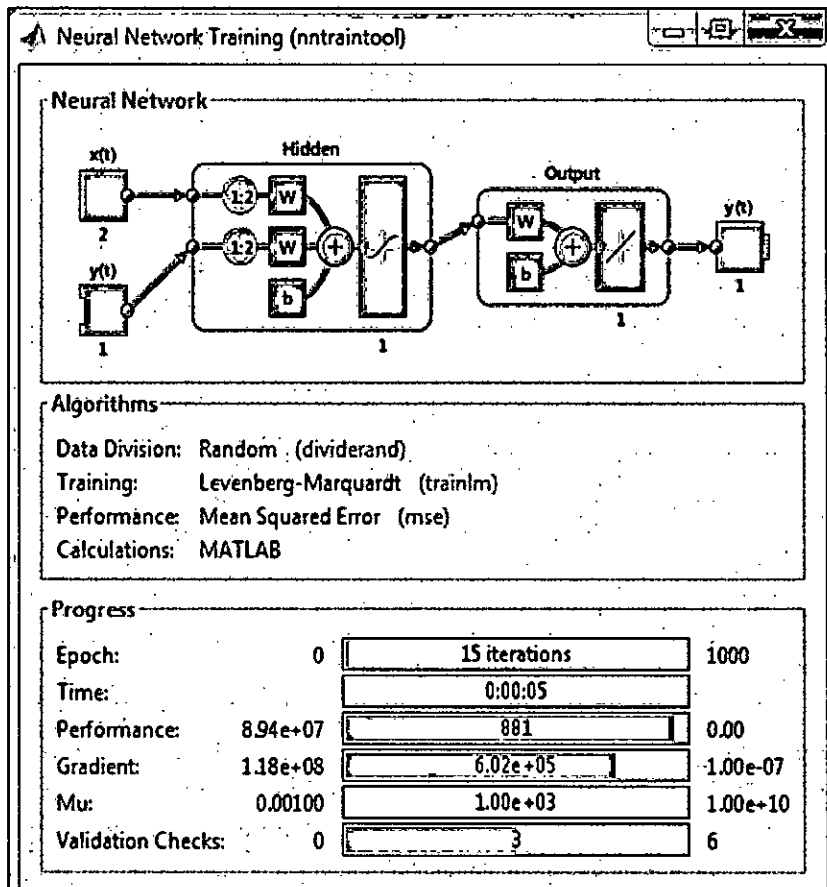
## 5.3 Resultados de los ensayos correspondientes a la Hipótesis 2

### 5.3.1 Resultados del modelo NARX

#### a) Caso 1

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con una neurona oculta y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

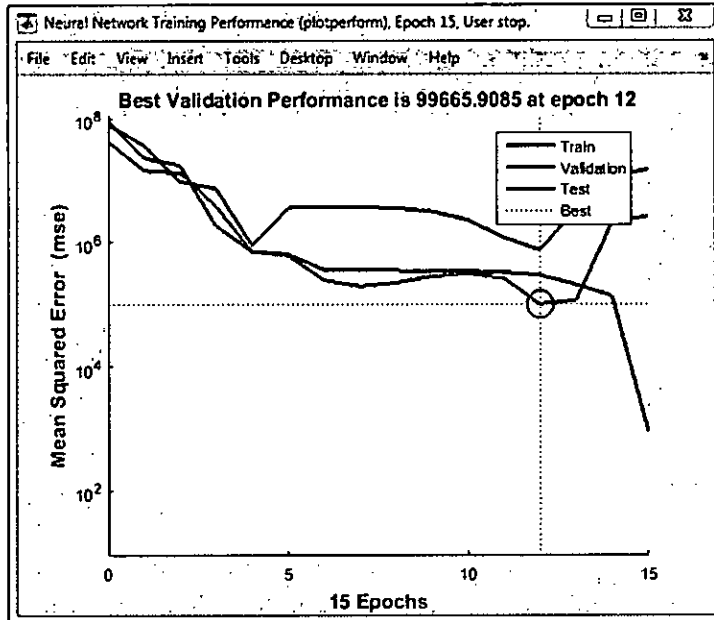
FIGURA N° 5.37  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX



Fuente: Elaboración propia

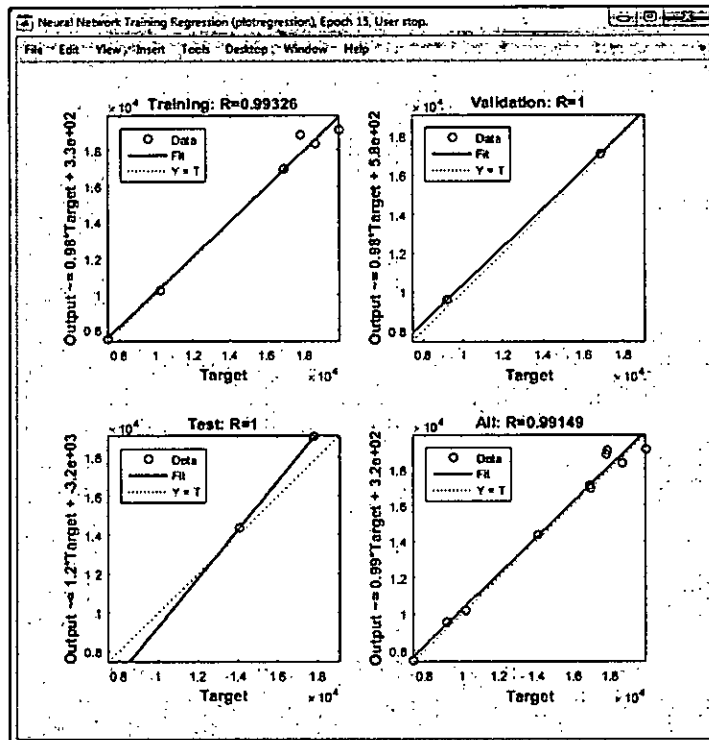
La Figura N°5.38 muestra el rendimiento de la red NARX, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 12, obteniéndose el valor 99665.91. La Figura N°5.39 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.991.

**FIGURA N° 5.38**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.39**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**

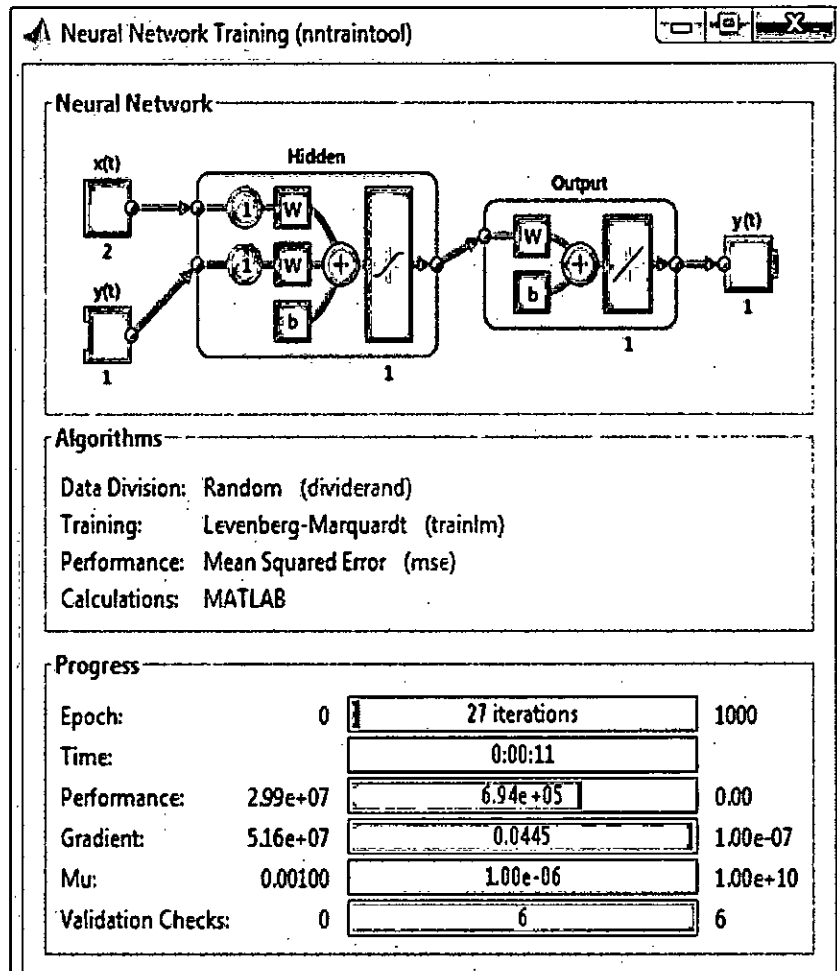


Fuente: Elaboración propia

**b) Caso 2**

La red NARX contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Las entradas fueron dos: Una entrada externa y otra de retroalimentación de la salida de la red. Para el entrenamiento se configuró la red con una neurona oculta y un retardo, como muestra la figura siguiente.

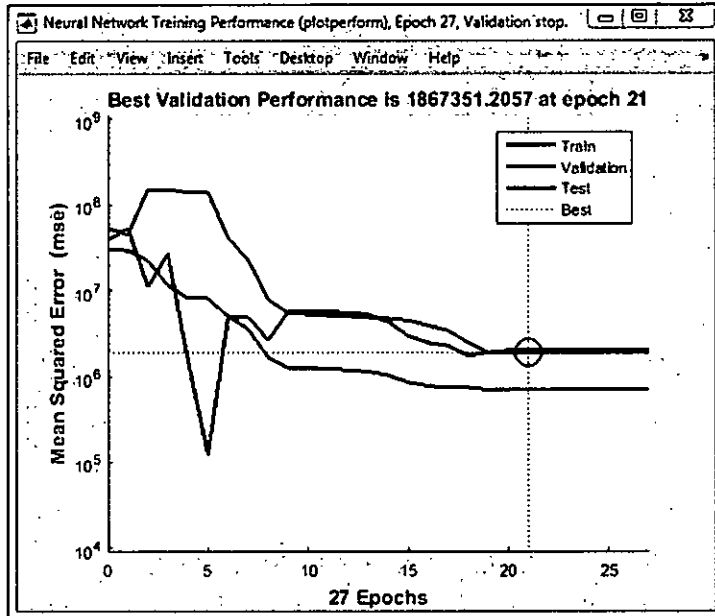
**FIGURA N° 5.40  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

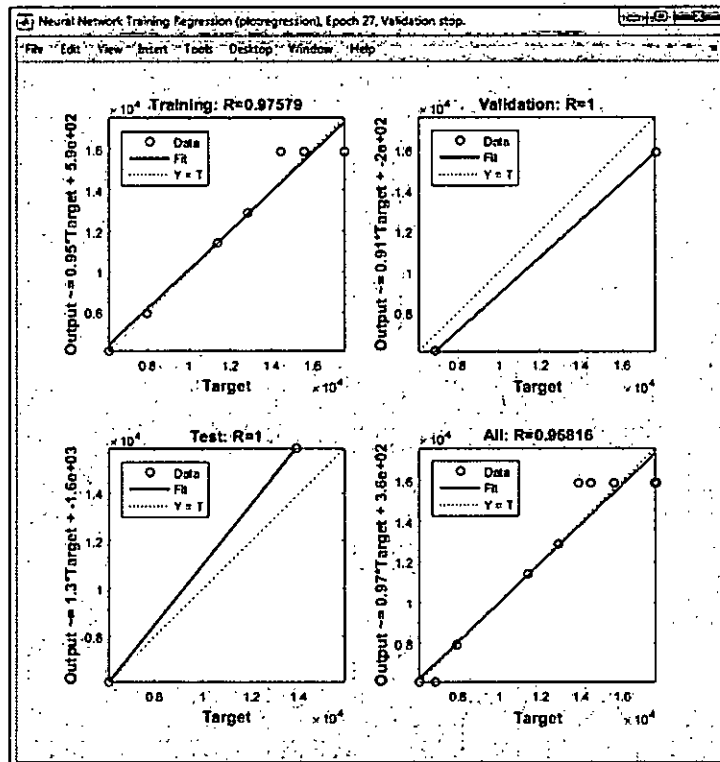
La Figura N°5.41 muestra el rendimiento de la red NARX, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 21, obteniéndose el valor 1867351.21. La Figura N°5.42 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.968.

**FIGURA N° 5.41**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NARX**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.42**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NARX**



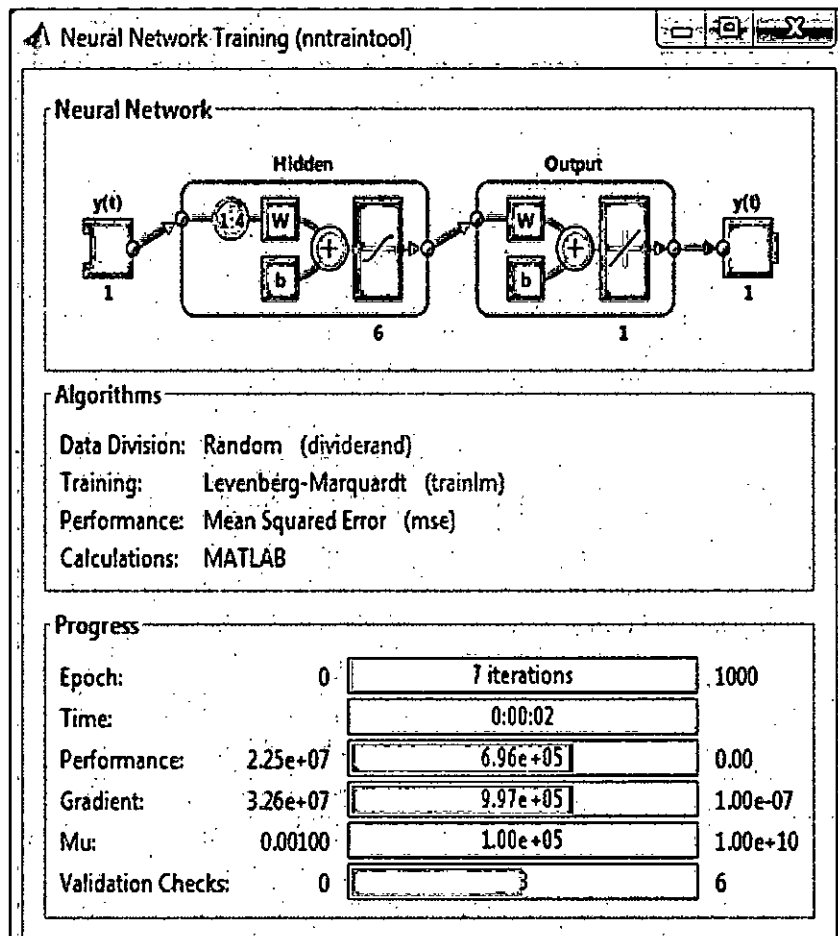
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Resultados del modelo NAR

#### a) Caso 1

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con seis neuronas ocultas y cuatro retardos, como muestra la figura siguiente.

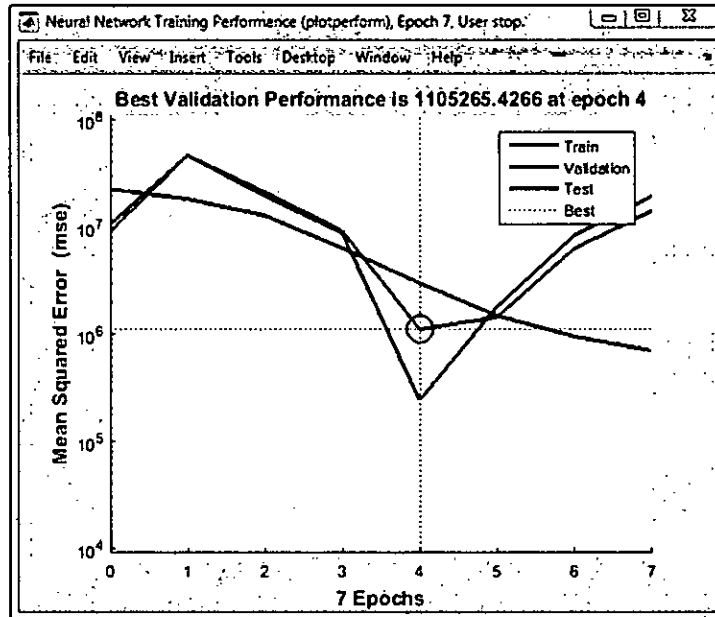
FIGURA N° 5.43  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR



Fuente: Elaboración propia

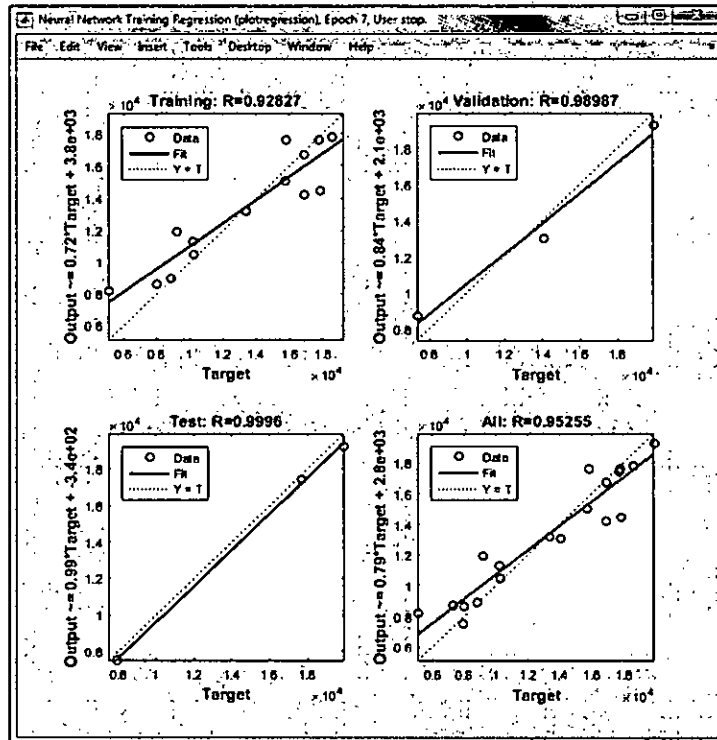
La Figura N°5.44 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 4, obteniéndose el valor 1105265.427. La Figura N°5.45 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.953.

**FIGURA N° 5.44**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.45**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**



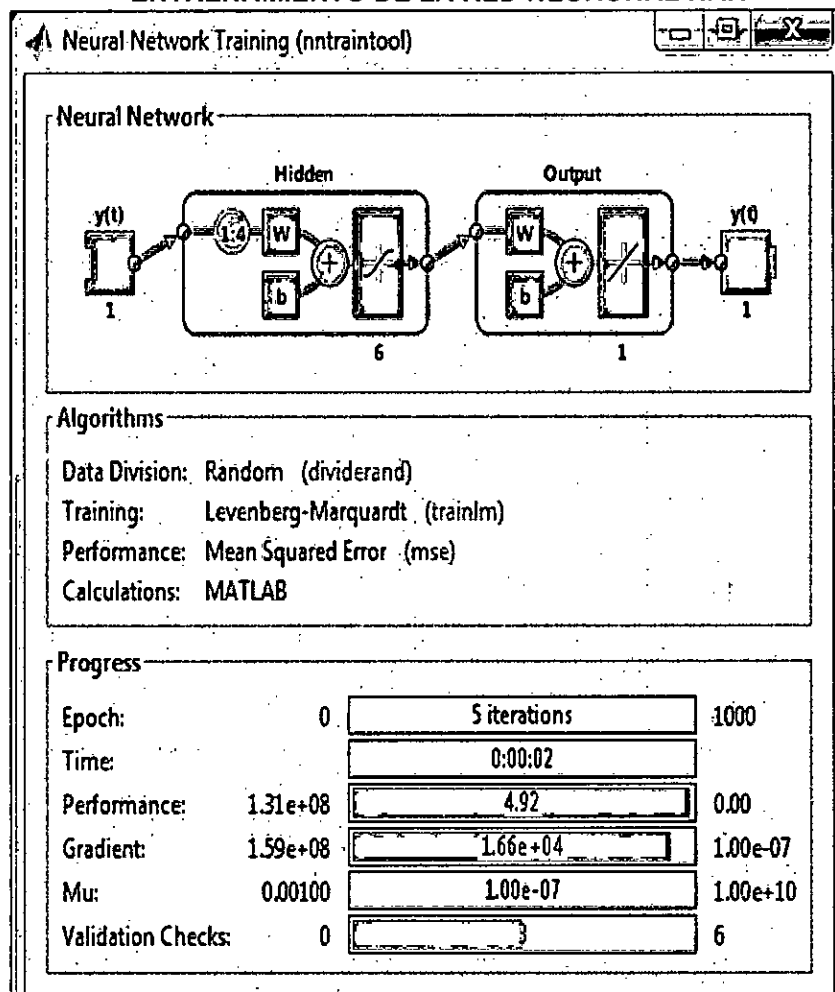
Fuente: Elaboración propia



**b) Caso 2**

La red NAR contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron los datos pasados de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con seis neuronas ocultas y cuatro retardos, como muestra la figura siguiente.

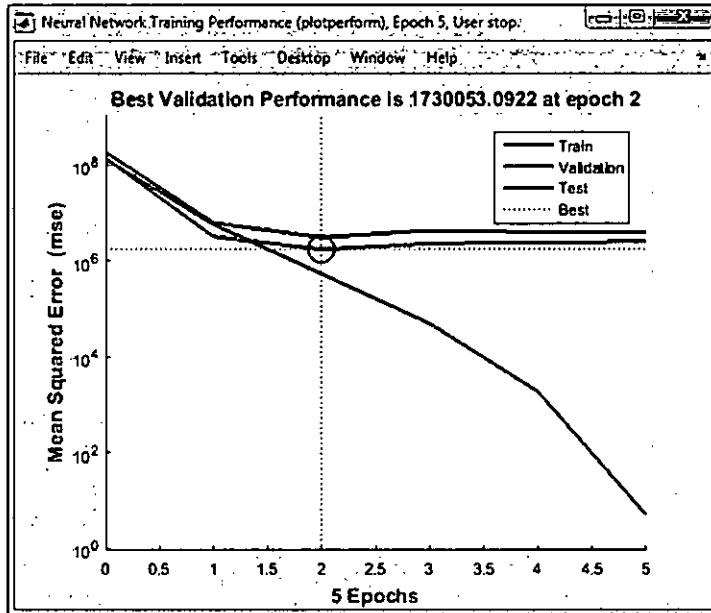
**FIGURA N° 5.46  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

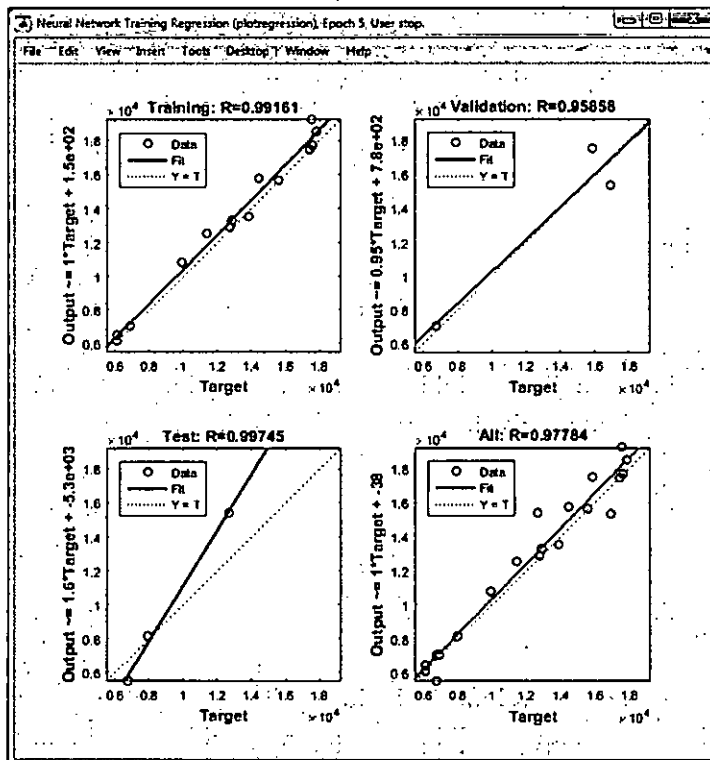
La Figura N°5.47 muestra el rendimiento de la red NAR, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo -2, obteniéndose el valor 1730053.09. La Figura N°5.48 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.978.

**FIGURA N° 5.47**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL NAR**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.48**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL NAR**



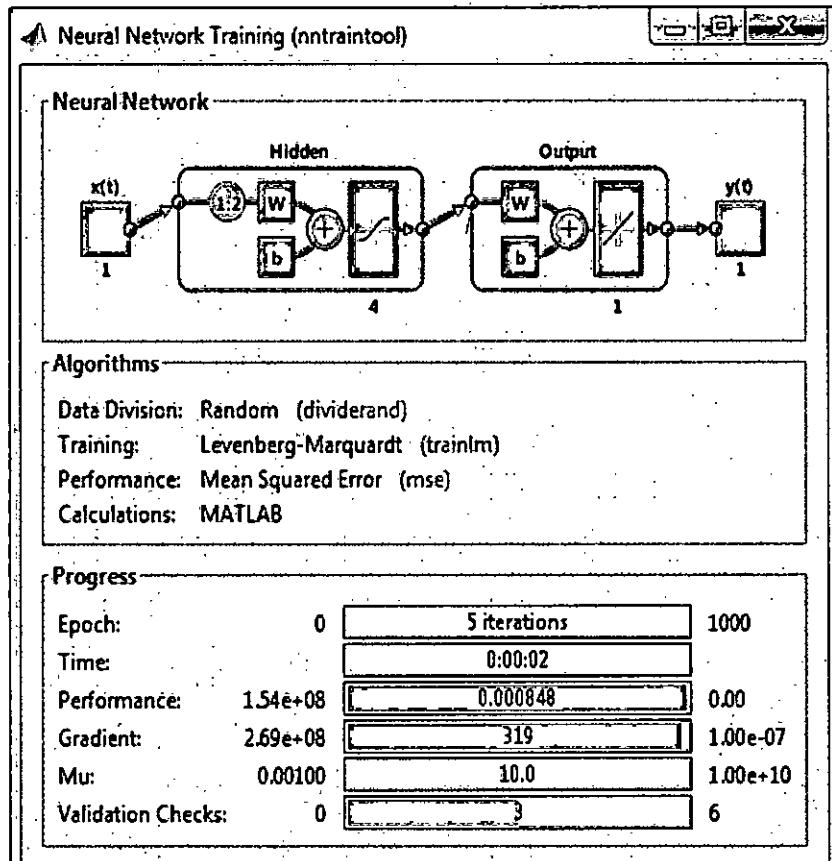
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Resultados del modelo Entrada- Salida no lineal

#### a) Caso 1

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con cuatro neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

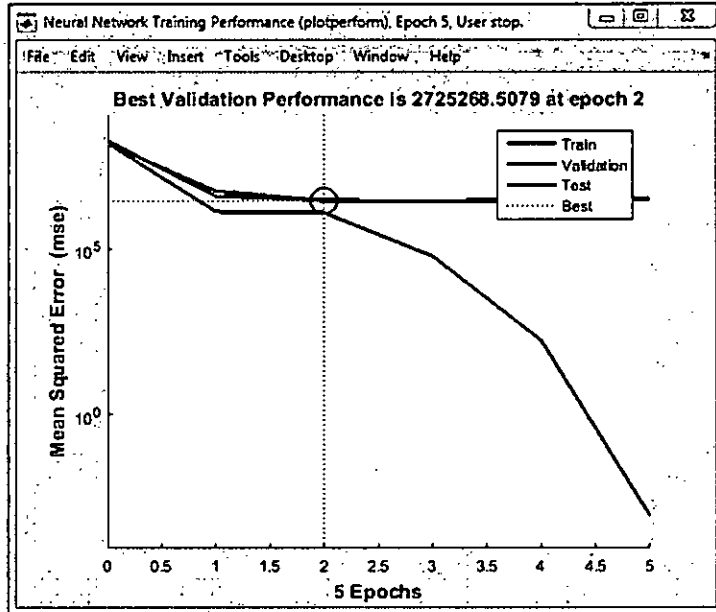
**FIGURA N° 5.49  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

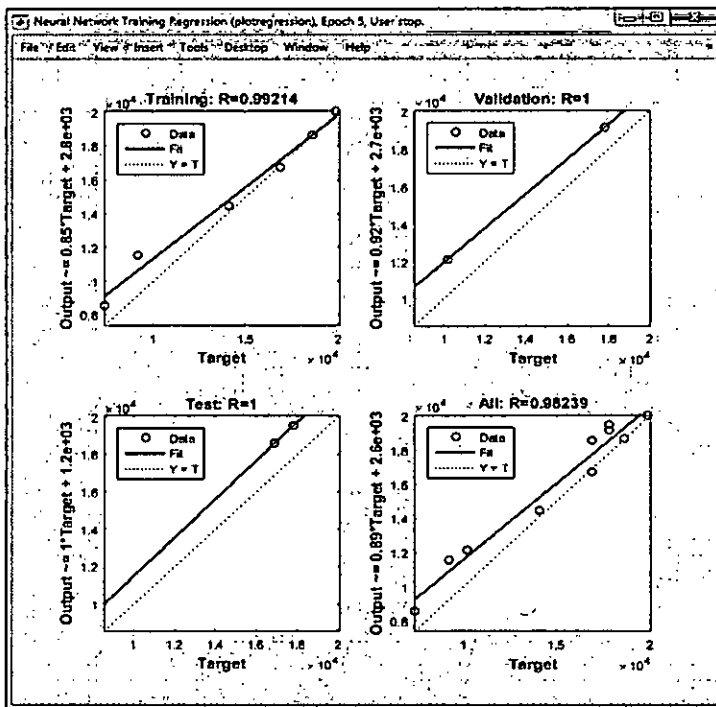
La Figura N° 5.50 muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, obteniéndose el valor de 2725268.51. La Figura N°5.51 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.982.

**FIGURA N° 5.50**  
**RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 5.51**  
**CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE**  
**ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**

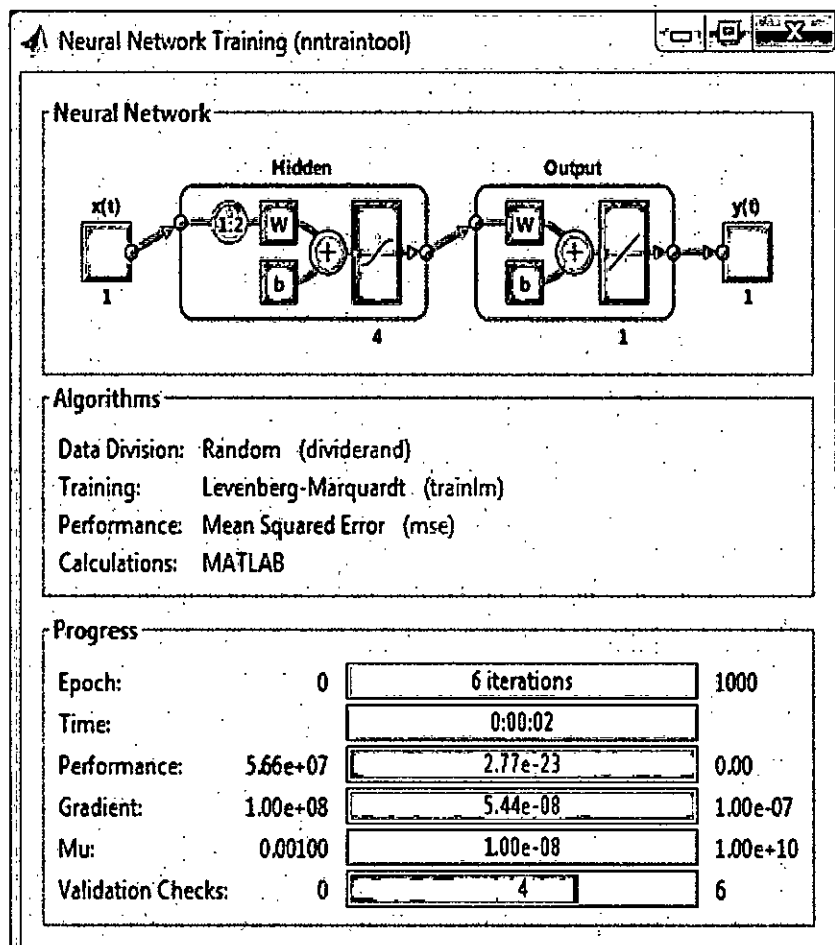


Fuente: Elaboración propia

**b) Caso 2**

La red de Entrada Salida no lineal contó con una función de transferencia sigmoidea por defecto en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. Los valores de entrada fueron datos pasados distintos a los de la serie a predecir. Para el entrenamiento se configuró la red con cuatro neuronas ocultas y dos retardos, como muestra la figura siguiente.

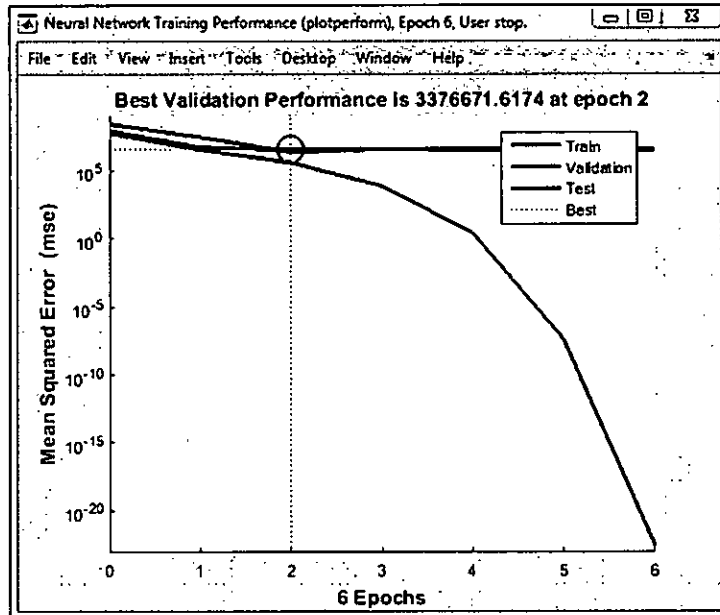
**FIGURA N° 5.52  
ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
ENTRADA - SALIDA NO LINEAL**



Fuente: Elaboración propia

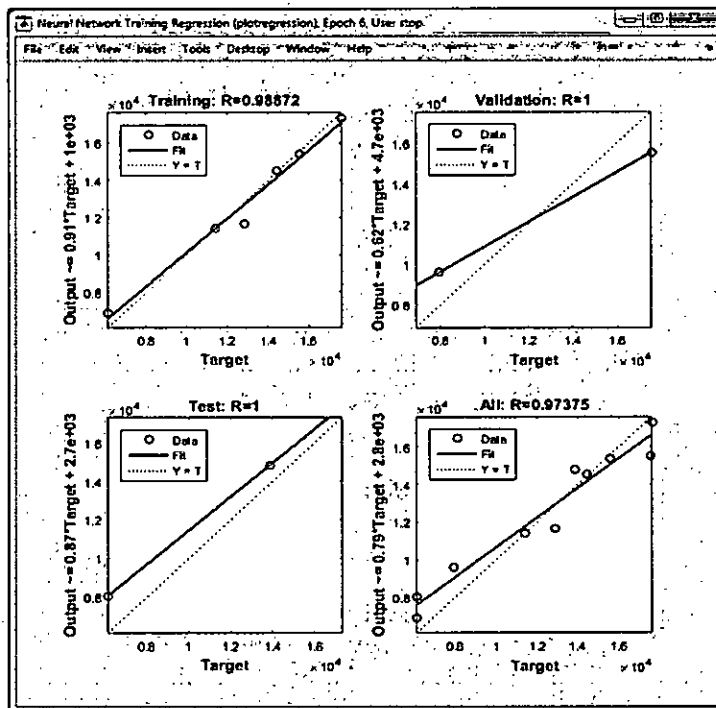
La Figura N°5.53 muestra el rendimiento de la red de Entrada Salida, hasta alcanzar el mejor valor del error cuadrático medio (ECM) en el ciclo 2, obteniéndose el valor 3376671.62. La Figura N°5.54 ilustra los coeficientes de correlación en las distintas fases y el coeficiente de correlación global: 0.974.

FIGURA N° 5.53  
 RENDIMIENTO DE LA RED NEURONAL DE  
 ENTRADA - SALIDA NO LINEAL



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5.54  
 CORRELACIONES DE LA RED NEURONAL DE  
 ENTRADA - SALIDA NO LINEAL



Fuente: Elaboración propia

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se utilizó como prueba estadística el análisis de regresión lineal de las salidas de la red y los objetivos correspondientes. La regresión lineal retorna tres parámetros. Los dos primeros:  $m$  y  $b$ , corresponden a la pendiente y a la intersección en  $y$ . La mejor regresión lineal relaciona de manera idéntica a los objetivos con las salidas de red. Si hubiera un ajuste perfecto (salidas exactamente iguales a los objetivos), la pendiente sería 1, y la intersección con el eje  $y$  sería 0.

La tercera variable devuelta por la regresión es el coeficiente de correlación " $r$ " entre las salidas y los objetivos. El cual es una medida de qué tan bien la variación en la salida es explicada por los objetivos. Si este número es igual a 1, entonces hay una correlación perfecta entre los objetivos y las salidas.

### 6.1 Contratación de la Hipótesis 1

El procedimiento estadístico de prueba de hipótesis de la predicción de la energía generada por los colectores solares, se establece para cada modelo:

a) **Modelo NARX:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación " $r$ " de la predicción de la energía de colectores solares es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación " $r$ " de la predicción de la energía de colectores solares es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de  $(X, Y)$

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de energía de colectores solares es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.1  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NARX**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NARX	Caso 1	0.99993	0.99997	0.99777	0.99782
	Caso 2	0.99973	0.99924	0.99999	0.99741
Promedio:					<b>0.99762</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NARX es 0.99762, se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**b) Modelo NAR:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de colectores solares es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de colectores solares es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)



$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de energía de colectores solares es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.2  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NAR**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NAR	Caso 1	0.99705	0.99849	0.99190	0.99602
	Caso 2	0.99548	0.99458	0.99953	0.99505
Promedio:					<b>0.99554</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NAR es 0.99554, se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**c) Modelo Entrada Salida No Lineal:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de colectores solares es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de colectores solares es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de energía de colectores solares es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.3**  
**COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO ENTRADA SALIDA NO LINEAL**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo Entrada-Salida no lineal	Caso 1	0.99633	0.99859	0.99998	0.99706
	Caso 2	0.99645	0.99679	0.96878	0.99669
Promedio:					<b>0.99688</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo Entrada Salida No Lineal es 0.99688, se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

## 6.2 Contrastación de la Hipótesis 2

El procedimiento estadístico de prueba de hipótesis de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía, se establece para cada modelo:

a) **Modelo NARX:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99".

Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.4  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NARX**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NARX	Caso 1	1	0.72029	0.77136	0.93933
	Caso 2	0.99096	0.71061	0.94546	0.94193
Promedio:					<b>0.94063</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NARX es 0.94063, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

**b) Modelo NAR:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de

energía es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X,Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.5**  
**COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NAR**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NAR	Caso 1	0.99870	1	1	0.97334
	Caso 2	1	0.86690	0.91782	0.98822
Promedio:					<b>0.98078</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NAR es 0.98078, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

c) **Modelo Entrada Salida No Lineal:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es “El coeficiente de correlación “r” de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es menor o igual a 0.99”. La hipótesis alternativa es “El valor del coeficiente de correlación “r” de la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99”. Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la energía generada acumulada de colectores solares y otra fuente de energía es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación “r” está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.6  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO ENTRADA SALIDA NO LINEAL**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo Entrada-Salida no lineal	Caso 1	0.99981	0.91332	0.66212	0.97275
	Caso 2	1	0.97879	0.86775	0.97458
Promedio:					<b>0.97367</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo Entrada Salida No Lineal es 0.97367, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

### 6.3 Contrastación de la Hipótesis 3

El procedimiento estadístico de prueba de hipótesis de la predicción de la energía generada por paneles fotovoltaicos, se establece para cada modelo:

a) **Modelo NARX:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X,Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.7**  
**COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NARX**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NARX	Caso 1	0.99326	1	1	0.99149
	Caso 2	0.97579	1	1	0.96816
Promedio:					<b>0.97983</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NARX es 0.97983, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

**b) Modelo NAR:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación "r" está en ese nivel de precisión. En caso

contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.8  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO NAR**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo NAR	Caso 1	0.92827	0.98987	0.99960	0.95255
	Caso 2	0.99161	0.95858	0.99745	0.97784
Promedio:					<b>0.96520</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo NAR es 0.96520, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

**c) Modelo Entrada Salida No Lineal:** Se detallan los siguientes pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "El coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es menor o igual a 0.99". La hipótesis alternativa es "El valor del coeficiente de correlación "r" de la predicción de la energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99". Las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: r \leq 0.99$$

$$H_1: r > 0.99$$

**Paso 2:** Al aplicar un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error es del tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** La ecuación del coeficiente de correlación fue:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ : Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$ : Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

**Paso 4:** La regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la predicción de la generación de



energía de paneles fotovoltaicos es mayor a 0.99), si el valor el valor del coeficiente de correlación “r” está en ese nivel de precisión. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula.

**Paso 5:** De los resultados obtenidos tenemos el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 6.9  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN - MODELO ENTRADA SALIDA NO LINEAL**

RED NEURONAL	CASOS	FASE DE ENTRENAMIENTO - (r)	FASE DE VALIDACIÓN - (r)	FASE DE PRUEBA - (r)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN GLOBAL - (r)
Modelo Entrada-Salida no lineal	Caso 1	0.99214	1	1	0.98239
	Caso 2	0.98872	1	1	0.97375
Promedio:					<b>0.97807</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor promedio del coeficiente de correlación del modelo Entrada Salida No Lineal es 0.97807, no se halla en la zona de rechazo de la hipótesis nula y considerando la regla de decisión se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

## VII. CONCLUSIONES

- a) Las redes neuronales artificiales tienen un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos. Con un nivel de precisión mayor al 97% en todos los casos.
- b) En la predicción de la generación de energía de colectores solares se obtuvo un gran nivel de precisión en todos los modelos de redes neuronales artificiales. Con un nivel de precisión mayor al 99% en todos los modelos de redes neuronales artificiales.
- c) En la predicción de la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía se obtuvieron diferentes niveles de predicción en los modelos de redes neuronales. Obteniéndose el mejor nivel de predicción en el modelo NAR, con un nivel de precisión mayor al 98%, pero menor al 99%.
- d) En la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos se obtuvieron diferentes niveles de predicción en los modelos de redes neuronales. Obteniéndose el mejor nivel de predicción en el modelo NARX, con un nivel de precisión mayor al 97%, pero menor al 98%.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- a) Las redes neuronales artificiales pueden aplicarse a la predicción de diversas fuentes de energía, y esa predicción puede ser de una fuente individual o de sistemas de fuentes de energía.
- b) Para las predicciones de la generación de energía de colectores solares se puede considerar un colector o un sistema de colectores.
- c) Para nuevas predicciones de la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía, se pueden considerar nuevas fuentes de energía.
- d) Para la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos se puede considerar plantas y huertos fotovoltaicos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### A. Libro:

- Ayuntamiento de Pamplona. (2007). *Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*. Pamplona.
- Álvarez Munárriz, L. (1994). *Fundamentos de Inteligencia Artificial*. (Ed. II). Murcia: Universidad de Murcia.
- Barrero Gonzales F. (2004). *Sistemas de Energía Eléctrica*. (Ed. I). Madrid: Editorial Paraninfo.
- Flórez López R., Fernandez Fernandez J. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales*. (Ed. I). La Coruña: Editorial Netbiblo.
- Garcia-Badell J. (1983). *Cálculo de la Energía Solar*. (Ed. I). Madrid: INIA.
- Haugeland, J. (2003). *La Inteligencia Artificial*. (Ed. IV). Buenos Aires: Siglo XXI Editores,
- Harper E. (2009). *Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica*. México: Editorial Limusa.
- Meinel A., Meinel M. (1982). *Aplicaciones de la Energía Solar*. (Ed. I). Arizona: Editorial Reverté.
- Mendez Muñiz J., Cuervo García R. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. (Ed. II). Madrid: FC Editorial.
- Romero Tous, Marcelo. (2009). *Energía Solar Térmica*. (Ed. I). Barcelona: Ediciones CEAC.
- Rufes Martínez, Pedro. (2010) *Energía Solar Térmica*. (Ed. I). Barcelona. Editorial Marcombo.

### B. Publicaciones web:

- Appa. *¿Qué es la energía Solar Fotovoltaica?*. Recuperado el 10 de diciembre del 2016, de [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.php](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php)
- Acciona. *Energía Solar Fotovoltaica*. Recuperado el 27 de octubre del 2016, de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>
- Energía doble cero. Tipos de colectores solares y componentes básicos. Recuperado el 13 de febrero del 2017, de <http://energiadoblezero.com/energia>

s-renovables/energia-termosolar/tipos-de-colectores-solares-y-componentes-basicos

- Mathworks. *Design Time Series NARX Feedback Neural Networks*. Recuperado el 3 de octubre del 2016, de [https://www.mathworks.com/help/nnet/ug/design-time-series-narx-feedback-neural-networks.html?s\\_tid=gn\\_loc\\_drop](https://www.mathworks.com/help/nnet/ug/design-time-series-narx-feedback-neural-networks.html?s_tid=gn_loc_drop)
- Mathworks. *Neural Network Overview*. Recuperado el 29 de enero del 2017, de [https://www.mathworks.com/help/nnet/gs/neural-networks-overview.html?searchHighlight=neural%20networks&s\\_tid=doc\\_srchtile](https://www.mathworks.com/help/nnet/gs/neural-networks-overview.html?searchHighlight=neural%20networks&s_tid=doc_srchtile)
- Programa solar. *Ventajas del Uso de Colectores Solares Térmicos*. Recuperado el 8 de noviembre del 2016, de <http://www.programasolar.cl/index.php/ventajas-de-usar-cst>
- Wikipedia. *Colector Solar*. Recuperado el 5 de enero del 2017, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Colector\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Colector_solar)
- Wikipedia. *La Energía Solar*. Recuperado el 16 de diciembre del 2016, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar)
- Wikipedia. *Panel Fotovoltaico*. Recuperado el 5 de enero del 2017, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_fotovoltaico](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

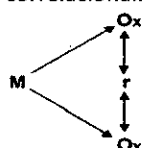
**C. Tesis:**

- Collado Fernández, E. (2009). *Estudio energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos*. Madrid. España.
- Fernández Zamudio, O., (2011). *Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos*. Sevilla. España.
- González Peñafiel, G.G., Zambrano Manosalvas, J. C., Estrada Pulgar, E. F. (2014). *Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla mondragon del golfo de Guayaquil*. Guayas. Ecuador.
- Gutiérrez Corea, F. (2014). *Predicción espacio-temporal de la irradiancia solar global a corto plazo en España mediante geoestadística y redes neuronales artificiales*. Madrid. España.

- Martín Pomares, L. (2012). *Estudio, análisis y predicción de series temporales de irradiancia solar global mediante modelos estadísticos*. Madrid. España.
- Miranda Gassull, V. (2011). *Sistema de calentamiento de agua sanitaria solar*. Huelva. España.
- Palmero Marrero, A. I. (2014) *Estudio de un sistema solar térmico utilizando dispositivos sombreadores de edificios*. Madrid. España.
- Pérez de los Reyes, C., (2007). *Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero*. Córdoba. Argentina.
- Rodríguez Delgado, A. (2011). *Estudio parametrización de una red neuronal para la mejora de la predicción de la irradiancia directa normal*. Madrid. España.
- Salguero Fernández, V., (2011). *Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío*. Madrid. España
- Solano Flores, A. L. (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de calentadores solares de agua en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. Ibarra. Ecuador.

# ANEXOS

**Tema: "REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DE COLECTORES SOLARES Y PANELES FOTOVOLTAICOS"**

MATRIZ DE CONSISTENCIA					MATRIZ COREA		
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES	APORTES
<p><b>General:</b> ¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos?</p> <p><b>Específicos:</b> ¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de colectores solares?</p> <p>¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía?</p> <p>¿Con que precisión las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los paneles fotovoltaicos?</p>	<p><b>General:</b> Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.</p> <p><b>Específicos:</b> Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los colectores solares.</p> <p>Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía.</p> <p>Determinar el nivel de precisión con que las redes neuronales artificiales predicen la generación de energía de los paneles fotovoltaicos.</p>	<p><b>General:</b> Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.</p> <p><b>Específicos:</b> Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de colectores solares.</p> <p>Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía.</p> <p>Al utilizar redes neuronales artificiales tendremos un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los paneles fotovoltaicos.</p>	<p><b>Variable Dependient e:</b> Predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos</p> <p><b>Variable Independiente:</b> Redes Neuronales Artificiales</p>	<p><b>General:</b> -Según el objeto de estudio la investigación fue aplicada. -Según la fuente de información fue Mixta, la cual participa de la naturaleza de la investigación de campo y de la investigación documental. -El diseño de la investigación fue correlacional:</p>  <p><b>Específicas:</b> -Pruebas estandarizadas: Entrenamiento, Prueba, y validación. -Análisis documental. -Contraste de hipótesis.</p>	<p><b>General:</b> Las redes neuronales artificiales tienen un gran nivel de precisión en la predicción de la generación de energía de los colectores solares y paneles fotovoltaicos.</p> <p><b>Específicos:</b> En la predicción de la generación de energía de colectores solares se obtuvo un gran nivel de precisión en todos los modelos de redes neuronales artificiales.</p> <p>En la predicción de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía se obtuvieron diferentes niveles de predicción en los modelos de redes neuronales.</p> <p>En la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos se obtuvieron diferentes niveles de predicción en los modelos de redes neuronales.</p>	<p><b>General:</b> Las redes neuronales artificiales pueden aplicarse a la predicción de diversas fuentes de energía, y esa predicción puede ser de una fuente individual o de sistemas de fuentes de energía.</p> <p><b>Específicos:</b> Para las predicciones de la generación de energía de colectores solares se puede considerar un colector o un sistema de colectores.</p> <p>Para nuevas predicciones de la generación de la energía acumulada de los colectores solares y otra fuente de energía, se pueden considerar nuevas fuentes de energía.</p> <p>Para la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos se puede considerar plantas y huertos fotovoltaicos.</p>	<p><b>General:</b> Todos los modelos de redes neuronales para la predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos, tienen un nivel de precisión mayor al 97% en todos los casos.</p> <p><b>Específicos:</b> En la predicción de la generación de energía de colectores solares se obtuvo un nivel de precisión mayor al 99% en todos los modelos de redes neuronales artificiales.</p> <p>En la predicción de la generación de la energía acumulada de colectores solares y otra fuente de energía se obtuvo el mejor nivel de predicción en el modelo NAR, con un nivel de precisión mayor al 98%, pero menor al 99%.</p> <p>En la predicción de la generación de energía de paneles fotovoltaicos se obtuvo el mejor nivel de predicción en el modelo NARX, con un nivel de precisión mayor al 97%, pero menor al 98%.</p>



**Anexo N°2:**

Los datos siguientes fueron de las experimentaciones de la investigación: **Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío**, realizada por Víctor Salguero Fernández.

Serie	Hora de Registro	Fecha 30/06/2007		Fecha 05/07/2007	
		Energía Térmica Generada (kJ)	Radiación Solar Registrada (W/m <sup>2</sup> )	Energía Térmica Generada (kJ)	Radiación Solar Registrada (W/m <sup>2</sup> )
1	10:30	1,195.410	580.722	908.542	601.415
2	10:40	1,399.867	610.475	992.967	629.679
3	10:50	2,669.133	640.569	1,033.984	660.151
4	11:00	3,563.960	664.070	1,803.873	685.916
5	11:10	3,946.577	690.572	3,034.261	713.167
6	11:20	4,417.771	715.779	3,577.675	736.997
7	11:30	4,770.316	736.398	4,006.341	759.742
8	11:40	5,055.549	755.719	4,372.350	780.943
9	11:50	5,339.146	773.017	4,653.934	803.027
10	12:00	5,715.472	805.465	4,925.452	825.104
11	12:10	6,061.224	826.716	5,243.020	842.866
12	12:20	6,405.843	854.492	5,533.034	862.759
13	12:30	6,649.681	870.482	5,782.156	880.110
14	12:40	6,866.594	890.060	6,005.486	899.615
15	12:50	7,021.855	905.682	6,160.998	913.438
16	13:00	7,075.580	918.462	6,297.009	926.946
17	13:10	7,173.090	929.652	6,431.510	934.930
18	13:20	7,154.217	941.050	6,488.003	942.799
19	13:30	7,160.256	950.231	6,557.204	951.398
20	13:40	7,177.619	959.753	6,622.504	957.294
21	13:50	7,273.619	965.117	6,742.033	964.191

22	14:00	7,247.700	967.592	6,714.982	968.753
23	14:10	7,182.400	974.796	6,812.491	962.552
24	14:20	7,109.173	971.706	6,801.293	967.967
25	14:30	7,158.621	970.054	6,729.325	966.338
26	14:40	7,177.619	965.993	6,623.888	967.686
27	14:50	7,218.762	967.355	6,474.037	958.813
28	15:00	6,956.051	959.033	6,487.751	957.064
29	15:10	6,813.749	955.448	6,445.476	949.391
30	15:20	6,630.557	948.047	6,404.207	941.505
31	15:30	6,438.556	936.498	6,278.262	930.555
32	15:40	6,326.074	921.060	6,219.127	915.870
33	15:50	6,125.140	909.117	6,121.240	897.856
34	16:00	5,988.752	897.164	5,839.152	887.241
35	16:10	5,738.245	879.054	5,574.554	871.284
36	16:20	5,502.711	865.378	5,361.417	853.943
37	16:30	5,270.197	847.030	5,156.834	843.686
38	16:40	5,031.895	825.890	4,906.076	821.020
39	16:50	4,786.547	803.274	4,701.116	799.164
40	17:00	4,582.594	782.151	4,425.194	774.699
41	17:10	4,341.776	757.806	4,159.464	752.311
42	17:20	4,066.483	733.217	3,760.994	730.632
43	17:30	3,695.693	705.793	3,269.795	707.411
44	17:40	2,601.316	682.749	1,986.562	678.268
45	17:50	1,824.507	653.274	1,415.217	648.542
46	18:00	1,391.563	625.803	1,155.399	617.144
47	18:10	1,083.808	599.358	842.487	586.231
48	18:20	770.392	567.599	595.000	561.599

**Anexo N°3:**

Los datos siguientes fueron de la investigación: “Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero”, realizada por Caridad Pérez de los Reyes.

Serie	Días Registrados	Energía Acumulada Generada por el Sistema CCPSA (J)	Energía Acumulada Generada por el Sistema CCPA (J)	Radiación Solar Registrada (W/m <sup>2</sup> )
1	01/07/2005	18387926.3	18947538.8	21170000
2	02/07/2005	19492159.1	20151815.6	21100000
3	03/07/2005	17877903.4	17953729.3	21120000
4	04/07/2005	14436618.2	14721758.2	20800000
5	05/07/2005	17082452.1	17527605.0	21230000
6	06/07/2005	17648984.1	17393251.9	21040000
7	07/07/2005	14174831.4	13737174.6	20120000
8	08/07/2005	14676205.0	16592034.4	20180000
9	09/07/2005	14822955.5	13844714.8	18820000
10	10/07/2005	16015988.2	15432157.5	20940000
11	11/07/2005	12141947.5	17258033.8	21340000
12	12/07/2005	10609860.6	12026622.9	20760000
13	13/07/2005	11658737.5	16011086.9	20660000
14	14/07/2005	12584217.2	17414298.6	20290000
15	15/07/2005	12269957.8	17258033.8	20650000
16	16/07/2005	13398120.4	16817493.9	21460000
17	17/07/2005	1605029.7	2210195.4	21460000
18	18/07/2005	14791241.2	18149204.4	21250000
19	19/07/2005	16143710.1	19489275.9	21340000
20	20/07/2005	14523111.6	18127292.8	21430000
21	21/07/2005	14596919.3	17341644.1	20950000
22	22/07/2005	10285798.5	13686720.1	19520000
23	23/07/2005	12299653.8	15313661.5	18790000
24	24/07/2005	12981798.7	16279216.5	19060000
25	25/07/2005	12269957.8	13587252.7	17510000
26	26/07/2005	14359350.7	16741668.0	20380000
27	27/07/2005	13825397.9	14243449.5	20260000
28	28/07/2005	9253931.9	11480561.1	19910000
29	29/07/2005	12128973.5	15053604.6	20840000
30	30/07/2005	16105941.3	18294801.7	19360000
31	31/07/2005	16582231.8	18592627.4	18940000

32	01/08/2005	11160247.1	12910297.5	19520000
33	02/08/2005	14644779.0	16364556.7	21870000
34	03/08/2005	15215059.0	17344815.5	22250000
35	04/08/2005	15481747.1	17804095.6	22780000
36	05/08/2005	16368881.4	19127733.4	21370000
37	06/08/2005	15271856.4	18513918.4	19980000
38	07/08/2005	13283660.8	16066442.7	18320000
39	08/08/2005	11131415.9	12924713.0	18050000
40	09/08/2005	9759918.5	10846564.2	19040000
41	10/08/2005	4825756.7	5121275.9	15890000
42	11/08/2005	10730663.1	13977049.7	17740000
43	12/08/2005	14913196.9	17313101.3	20150000
44	13/08/2005	14904259.3	17305316.9	20270000
45	14/08/2005	17149628.7	19071224.4	20800000
46	15/08/2005	16753777.1	19062863.3	21020000
47	16/08/2005	9942996.2	11316223.6	17390000
48	17/08/2005	14263631.3	16992499.0	20420000
49	18/08/2005	13894304.4	16220977.6	20250000
50	19/08/2005	2564241.8	4153991.1	11680000
51	20/08/2005	17576329.6	17701456.8	19780000
52	21/08/2005	8888929.7	8392745.7	21460000
53	22/08/2005	11863438.7	12340882.4	21130000
54	23/08/2005	13573990.4	14122070.4	20610000
55	24/08/2005	13436754.1	13715263.0	20270000
56	25/08/2005	12493399.1	14058930.2	19930000
57	26/08/2005	10830130.5	18589744.3	20510000
58	27/08/2005	13678070.8	15668861.2	18940000
59	28/08/2005	18065017.5	19631125.2	20180000
60	29/08/2005	15590728.8	18654326.0	19680000
61	30/08/2005	13506525.5	17971316.3	19250000
62	31/08/2005	9705139.3	13551213.8	17950000
63	01/09/2005	9945289.1	16300481.4	19570000
64	02/09/2005	15478652.0	18128403.0	18270000
65	03/09/2005	13790873.9	16518770.8	19000000
66	04/09/2005	13977443.6	16425341.8	18750000
67	05/09/2005	15363307.5	18099566.8	19220000
68	06/09/2005	15530268.6	19096143.1	15060000
69	07/09/2005	5423785.6	5110625.4	14580000
70	08/09/2005	12950589.4	15890143.4	18530000
71	09/09/2005	12536791.1	14778511.0	18740000

72	10/09/2005	12618685.7	14897027.5	20070000
73	11/09/2005	12786223.5	15745962.8	18610000
74	12/09/2005	11075665.0	12771228.8	17020000
75	13/09/2005	13848546.2	16461098.6	18590000
76	14/09/2005	13919771.4	16511850.1	18480000
77	15/09/2005	12961835.5	15877167.1	16860000
78	16/09/2005	8122558.0	9316373.3	13840000
79	17/09/2005	2731068.8	3148039.1	9780000
80	18/09/2005	14970559.6	17266203.0	19270000
81	19/09/2005	14006568.1	17741133.9	18320000
82	20/09/2005	15587940.9	19153815.3	18370000
83	21/09/2005	14337895.1	17916457.5	17990000
84	22/09/2005	15018139.2	18238268.6	17060000
85	23/09/2005	9843209.2	11233975.3	13180000
86	24/09/2005	14196309.8	17353288.1	16270000
87	25/09/2005	12317636.6	14860693.9	15970000
88	26/09/2005	13158786.2	15467117.5	16820000
89	27/09/2005	12082622.2	13489536.5	16240000
90	28/09/2005	13788567.0	16494260.1	16500000
91	29/09/2005	13761749.4	16630366.6	15780000
92	30/09/2005	13340453.7	16611334.7	15940000

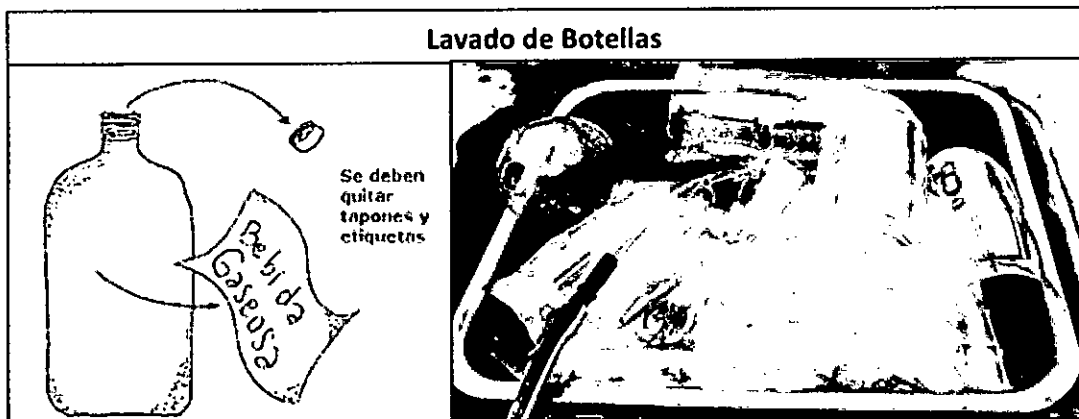
**Anexo N°4:**

Los datos siguientes fueron de la investigación: **Análisis de producción y rentabilidad de proyectos fotovoltaicos**, realizada por Olalla Fernández Zamudio.

Serie	Meses de Registro (Años 2009 y 2010)	Energía Fotovoltaica Generada en la Planta Solar de 112.04kW en la Palma del Condado (kWh)	Radiación Solar en la Provincia La Palma del Condado (kWh/m2)	Energía Fotovoltaica Generada en la Planta Solar de 75.24kW en la Provincia de Alcalá del Río (kWh)	Radiación Solar en la Provincia de Alcalá del Río (kWh/m2)
1	Enero	8,000	65.89	6,818	68.06
2	Febrero	8,840	103.31	10,030	103.56
3	Marzo	9,194	147.78	12,181	141.19
4	Abril	16,884	197.47	14,659	196.39
5	Mayo	19,896	234.44	17,421	239.44
6	Junio	15,807	225.44	15,872	230.36
7	Julio	17,718	253.08	17,863	263.06
8	Agosto	5,080	229.14	16,909	238.78
9	Septiembre	13,381	161.61	12,674	167.11
10	Octubre	15,727	137.61	12,742	142.92
11	Noviembre	10,276	90.00	9,912	93.81
12	Diciembre	7,933	61.92	6,760	62.61
13	Enero	8,000	66.39	6,735	67.50
14	Febrero	8,840	75.69	6,892	78.11
15	Marzo	9,194	129.53	6,110	130.81
16	Abril	16,884	172.75	12,871	176.00
17	Mayo	19,896	229.58	17,618	234.89
18	Junio	17,805	219.56	15,589	220.97
19	Julio	18,616	240.53	17,540	253.14
20	Agosto	17,842	208.50	14,458	225.22
21	Septiembre	16,906	167.92	13,864	177.42
22	Octubre	14,090	127.42	11,413	116.36
23	Noviembre	10,198	75.83	7,948	65.56
24	Diciembre	7,348	55.94	6,083	53.19

**Anexo N°5:**

Detalle de la implementación del Sistema de Calentamiento sin Aislar con Dos Botellas. Fuente: Virginia Miranda Gassull. Esta implementación se tomó en consideración como parte de los presupuestos de los colectores solares.



**Corte base de Botella**



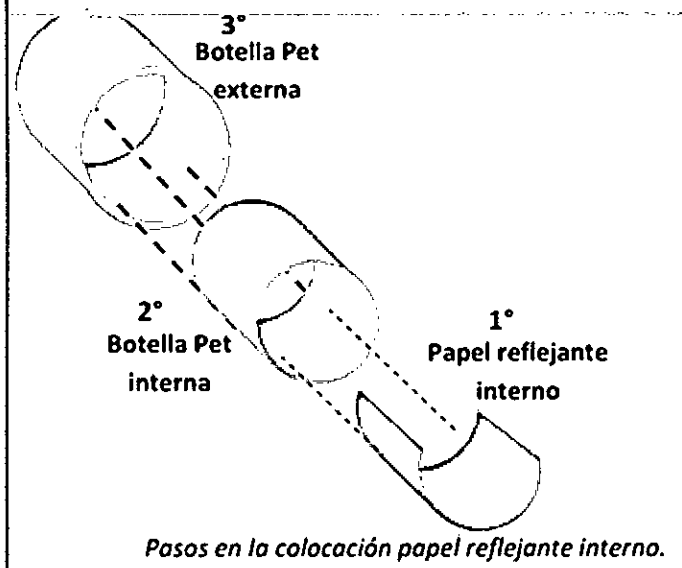
**Resultado Final: Botella Cortada**



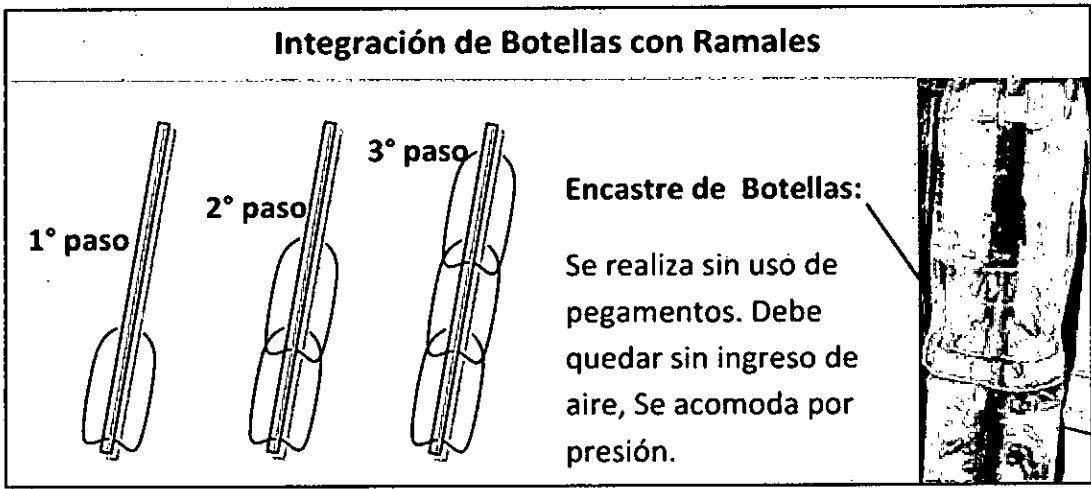
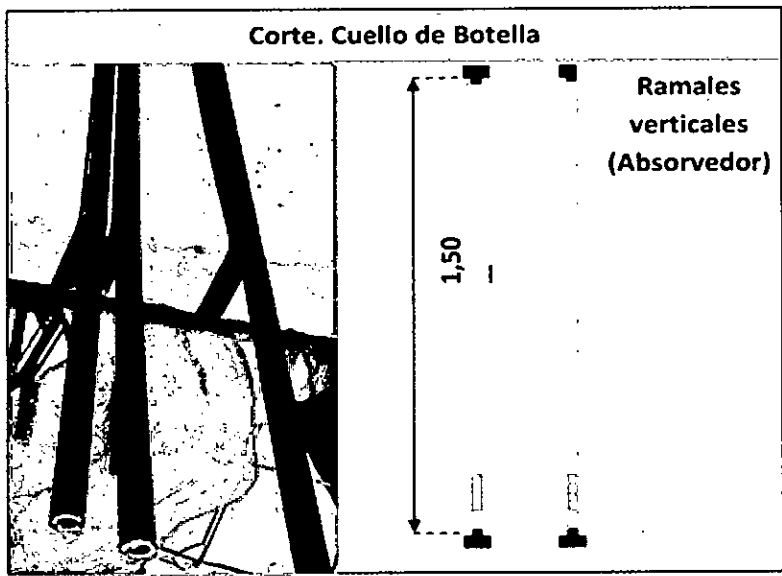
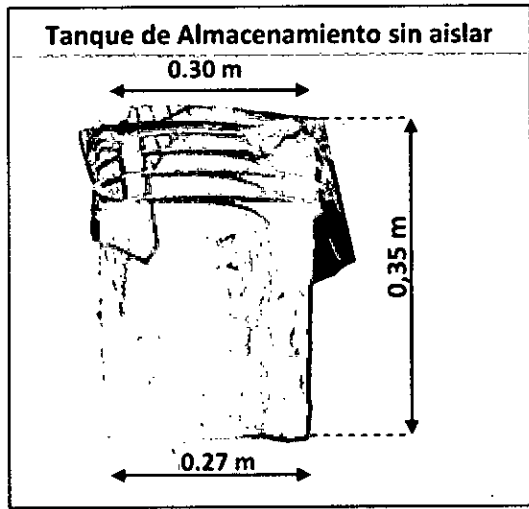
**Corte de botella interna**



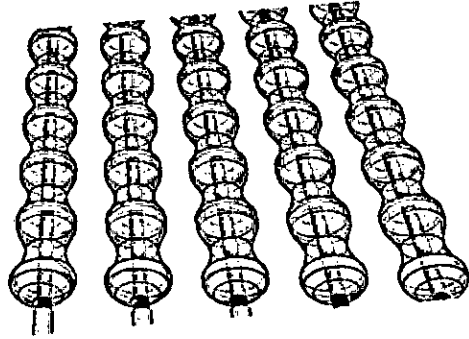
**Colocación del papel reflejante interno**







### Conexiones

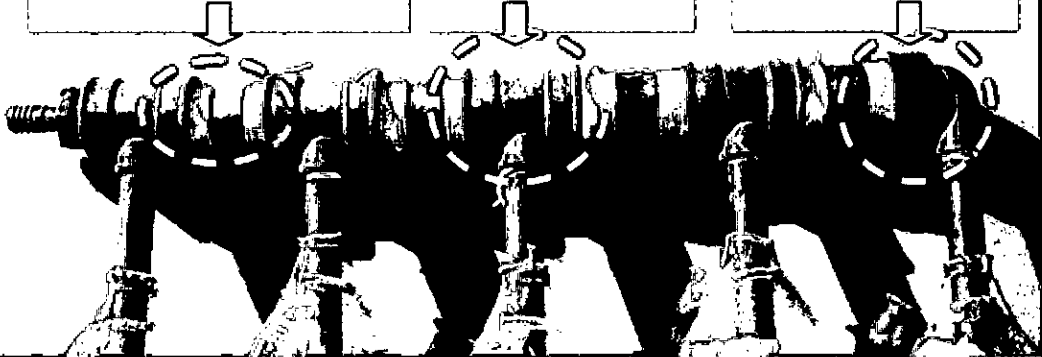


### Conexiones

Colector- Caño  
Polipropileno Tricapa 1".

Tee reducción 1"-  
1/2"

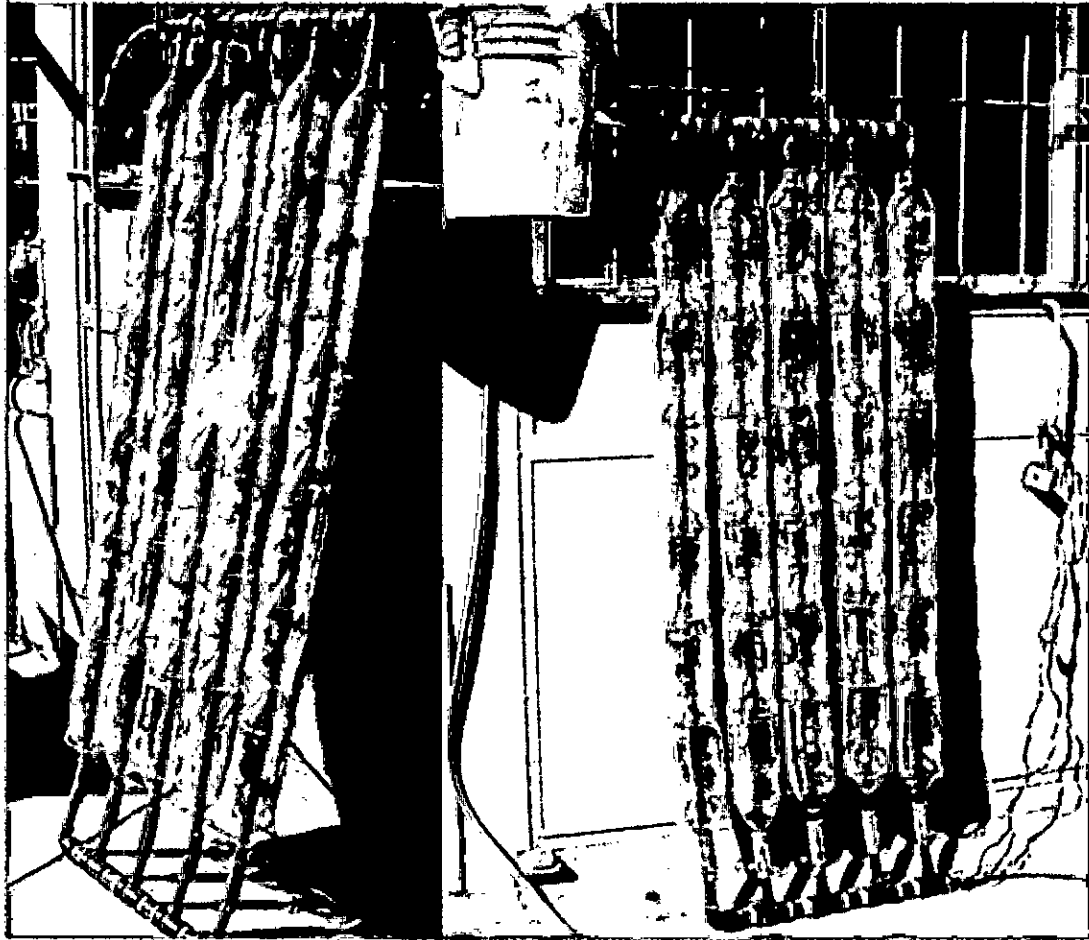
Codo 90° reducción  
1"-1/2"




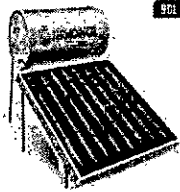

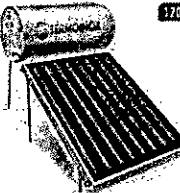



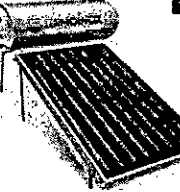
### Conexiones



**Sistema Calentamiento de Agua Sanitaria Solar (n°1)**



**Anexo N°6: Especificaciones técnicas de colectores solares**

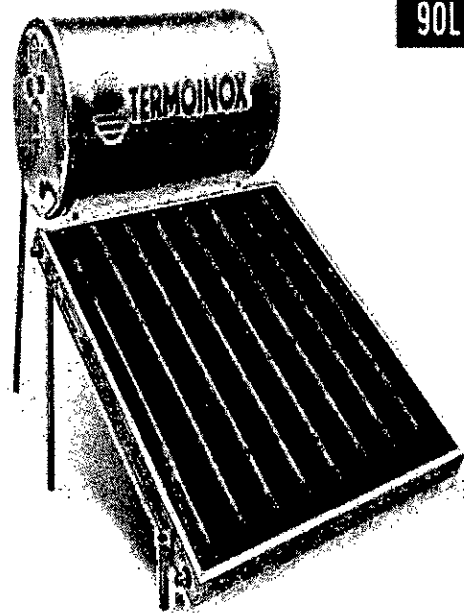
Modelo	Origen	Capacidad (L)	Medidas (m)	Descripción	Foto	Precios sin IGV
Placa Plana, SKU 152979-X		90	Medidas de tanque 0.48 m. x 0.89 m Medidas de panel 1.0 m. x 1.1 m. x 0.08 m	El colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva.		\$633,- USD
Placa Plana, SKU: 152980-3		120	Medidas de tanque 0.48 m. x 1.14 m Medidas de panel 1.0 m. x 1.5 m. x 0.08 m	El colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva.		\$710,- USD
Placa Plana, SKU:204299-1		135	Diámetro 0.46 m Altura 2.4 m Espesor del tanque 55 mm	Tanque interior (acero inoxidable SUS316 grado Quirúgico, grosor 0.5mm), Tanque exterior (Acero galvanizado pintado al horno, Grosor 0.31mm), Estructura (acero galvanizado, grosor 1.5mm), Aislante térmico (Poliuretano inyectado de alta densidad libre de gas Freón, Grosor 55mm), Tubo al vacío y Acero Inoxidable.		\$464,- USD
Placa Plana, SKU 152981-1		150	Medidas de tanque 0.48 m. x 1.4 m Medidas de panel 1.0 m. x 1.8 m. x 0.08 m	El colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva.		\$809,- USD

Fuente: Sodimac

## Terma Solar 90 litros Termoinox

Modelo: Placa Plana, SKU 152979-X

Precio: \$ 633 USD (No Incl. IGV)



Atributo	Detalle
<b>Modelo</b>	Placa plana
<b>Marca</b>	Termoinox
<b>Procedencia</b>	Perú
<b>Capacidad</b>	90 L
<b>Peso en vacío</b>	54 Kg
<b>Peso en bruto</b>	144 Kg
<b>Medidas de tanque</b>	0.48 m. x 0.89 m
<b>Medidas de panel</b>	1.0 m. x 1.1 m. x 0.08 m
<b>Entrada de agua</b>	Ingreso de agua fría. Salida de agua caliente. Termosifón.
<b>N° de puntos simultáneos</b>	2
<b>Número de personas</b>	02 a 03 Duchas personas / día
<b>Material</b>	Termotanque de acero inoxidable
<b>Potencia</b>	2000 W
<b>Regulador de presión de temperatura</b>	Si
<b>Aislamiento</b>	Poliuretano Rígido Ecológico
<b>Tipo de instalación</b>	Red pública/ Reservorio de agua o mixta

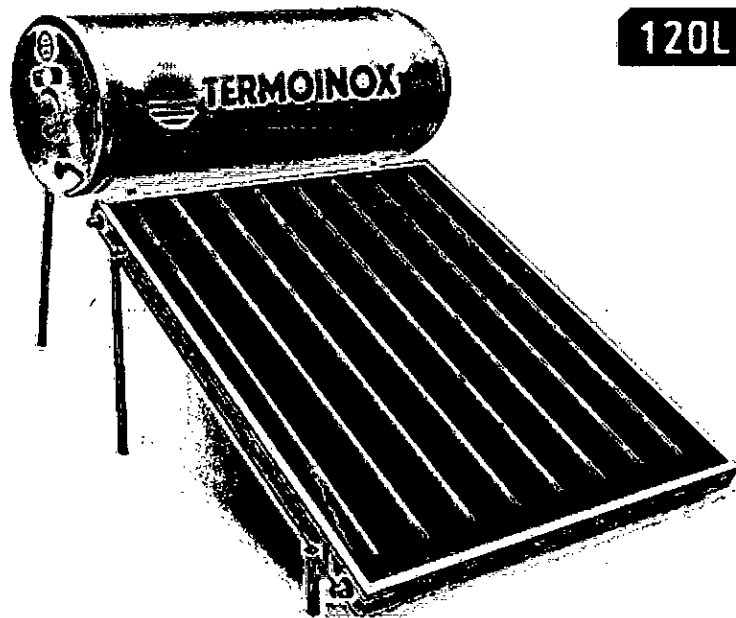
<b>Almacenaje caliente</b>	Hasta 24 horas
<b>Válvula antiretorno</b>	Si
<b>Color</b>	Aluminio
<b>Garantía</b>	5 años (Termotanque y colector solar), 1 año (Sistema auxiliar eléctrico) y 06 meses (Accesorios, tuberías y válvulas).
<b>Características</b>	Mayor tiempo de vida útil, el colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte, Ideal para zonas de humedad elevada y zonas cerca al mar. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva. Resiste impactos de 300 kg/m <sup>2</sup> ; es decir de hasta 4 personas/m <sup>2</sup> sin romperse.
<b>Incluye</b>	Instalación gratuita.
<b>Instalación</b>	Se requiere: Arranques: 01 arranque de agua fría de 3/4" y 01 arranque de agua caliente de 3/4" (puntos no mas de 2.5 m de radio). Espacio requerido: 4.5 m x 4.5 m. Este espacio debe estar limpio, libre de sombra y resistente al precio en bruto. Arranque sistema eléctrico: 01 llave termo magnética de 2x 32 Amperios en tablero general y tendido de cables # 12 (ida y vuelta) hasta el lugar de instalación.
<b>Observaciones</b>	La instalación es gratis en cualquier punto de venta de Sodimac - ciudad. Fuera de esta zona, solo se aplicará una tarifa por traslado del instalador. Si el cliente decide hacer la instalación por su cuenta, ésta pierde toda la garantía de fábrica.
<b>Detalles adicionales</b>	Superficie selectiva, posee aletas de aluminio con tratamiento superficial de Oxidación Anódica de Cromo Negro. Fuerte aislamiento, con lana de vidrio y/o poliuretano rígido ecológico de 30 mm de espesor. Menos pérdidas de calor. 100% de contacto entre placa selectiva y tubos de elevación de cobre mediante proceso de soldadura por ultrasonido. Eficiencia energética media 60.2%. Producción energética de 84.7 kw-h/mes-m <sup>2</sup>
<b>Grupo</b>	Termas solares
<b>Categoría</b>	Baños

Fuente: Sodimac

## Terma Solar 120 litros Termoinox

Modelo: Placa Plana, SKU: 152980-3

Precio: \$ 710 USD (No Incl. IGV)



Atributo	Detalle
Modelo	Placa plana
Marca	Termoinox
Procedencia	Perú
Capacidad	120 L
Peso en vacío	62 Kg
Peso en bruto	182 Kg
Medidas de tanque	0.48 m. x 1.14 m
Medidas de panel	1.0 m. x 1.5 m. x 0.08 m
Entrada de agua	Ingreso de agua fría. Salida de agua caliente. Termosifón.
Nº de puntos simultáneos	2
Número de personas	03 a 04 Duchas personas / día
Material	Termotanque de acero inoxidable
Potencia	2000 W
Regulador de presión de temperatura	Si
Aislamiento	Poliuretano Rígido Ecológico
Tipo de instalación	Red pública/ Reservorio de agua o mixta

<b>Almacenaje caliente</b>	Hasta 24 horas
<b>Válvula antiretorno</b>	Si
<b>Color</b>	Aluminio
<b>Garantía</b>	5 años (Termotanque y colector solar), 1 año (Sistema auxiliar eléctrico) y 06 meses (Accesorios, tuberías y válvulas).
<b>Características</b>	Mayor tiempo de vida útil, el colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte, Ideal para zonas de humedad elevada y zonas cerca al mar. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva. Resiste impactos de 300 kg/m2; es decir de hasta 4 personas/m2 sin romperse.
<b>Incluye</b>	Instalación gratuita.
<b>Instalación</b>	Se requiere: Arranques: 01 arranque de agua fría de 3/4" y 01 arranque de agua caliente de 3/4" (puntos no más de 2.5 m de radio). Espacio requerido: 4.5 m x 4.5 m. Este espacio debe estar limpio, libre de sombra y resistente al precio en bruto. Arranque sistema eléctrico: 01 llave termo magnética de 2x 32 Amperios en tablero general y tendido de cables # 12 (ida y vuelta) hasta el lugar de instalación.
<b>Observaciones</b>	La instalación es gratis en cualquier punto de venta de Sodimac - ciudad. Fuera de esta zona, solo se aplicará una tarifa por traslado del instalador. Si el cliente decide hacer la instalación por su cuenta, ésta pierde toda la garantía de fábrica.
<b>Detalles adicionales</b>	Superficie selectiva, posee aletas de aluminio con tratamiento superficial de Oxidación Anódica de Cromo Negro. Fuerte aislamiento, con lana de vidrio y/o poliuretano rígido ecológico de 30 mm de espesor. Menos pérdidas de calor. 100% de contacto entre placa selectiva y tubos de elevación de cobre mediante proceso de soldadura por ultrasonido. Eficiencia energética media 60.2%. Producción energética de 84.7 kw-h/mes-m2
<b>Grupo</b>	Termas solares
<b>Categoría</b>	Baños
<b>Familia</b>	Baños y cocinas

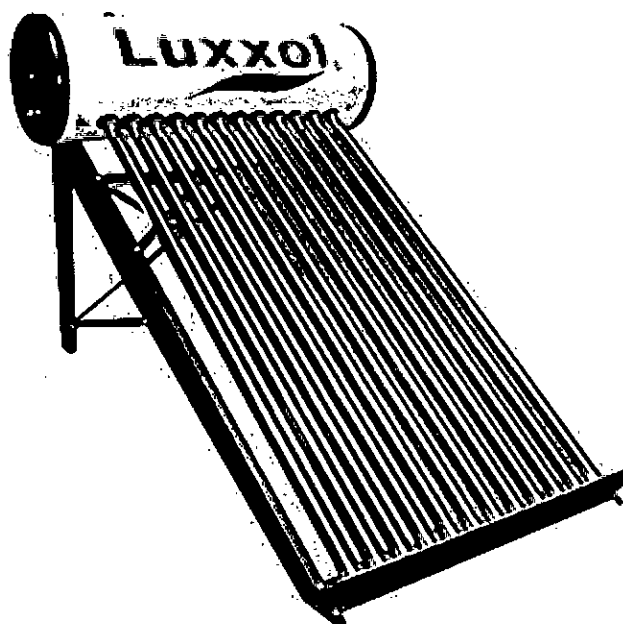
Fuente: Sodimac



## Terma Solar 135 litros Luxxol

Modelo: Placa Plana, SKU:204299-1

Precio: \$ 464 USD (No Incl. IGV)



Atributo	Detalle
Modelo	Luminum
Marca	Luxxol
Procedencia	China
Capacidad	135 L
Diámetro	0.46 m
Altura	2.40 m
Espesor del tanque	55 mm
Entrada de agua	Si
Termostato	No
Número de puntos simultáneos	1
Número de personas	10
Material	Acero inoxidable SUS316
Potencia	1500 W
Regulador de temperatura	Sensor
Indicador de temperatura	Si
Timer	No
Aislamiento	Poliuretano inyectado alta densidad

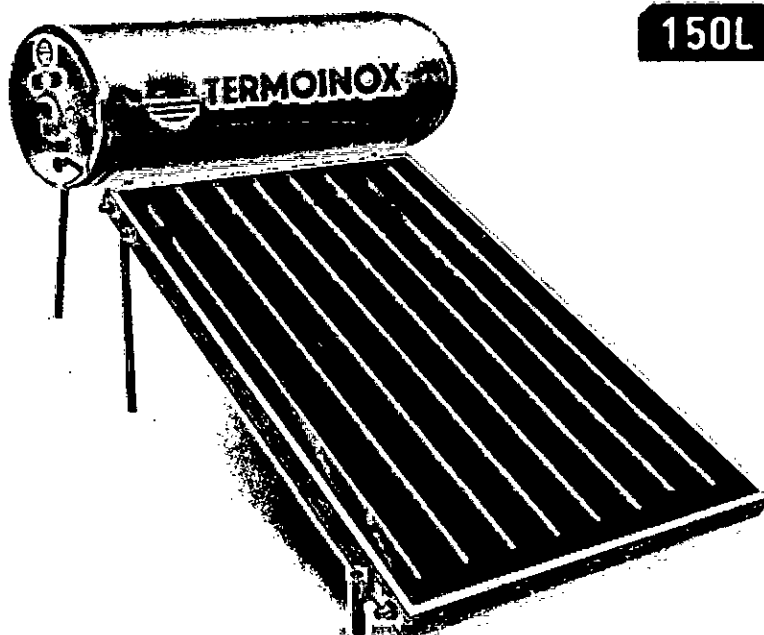
<b>Tipo de instalación</b>	Tanque elevado
<b>Almacenaje caliente</b>	24 horas
<b>Válvula de escape o fuga</b>	Alivio
<b>Color</b>	Fondo blanco tapa negra
<b>Garantía</b>	5 años
<b>Peso</b>	25 kg
<b>Características</b>	Tanque interior (acero inoxidable SUS316 grado Quirúrgico, grosor 0.5mm), Tanque exterior (Acero galvanizado pintado al horno, Grosor 0.31mm), Estructura (acero galvanizado, grosor 1.5mm), Aislante térmico (Poliuretano inyectado de alta densidad libre de gas Freón, Grosor 55mm), Tubo al vacío (Tubo triple capa, lleva una capa de Aluminio Nitrogenado, Cobre y Acero Inoxidable todo esto va entre los dos tubos concéntricos, haciendo que el tubo sea más eficiente para calentar agua).
<b>Incluye</b>	Kit de accesorios de la terma
<b>Observaciones</b>	Resistencia y controlador se venden por separado.

Fuente: Sodimac

## Terma Solar 150 litros Termoinox

Modelo: Placa Plana, SKU 152981-1

Precio: \$ 809 USD (No Incl. IGV)



Atributo	Detalle
Modelo	Placa plana
Marca	Termoinox
Procedencia	Perú
Capacidad	150 L
Peso en vacío	80 Kg
Peso en bruto	230 Kg
Medidas de tanque	0.48 m. x 1.4 m
Medidas de panel	1.0 m. x 1.8 m. x 0.08 m
Entrada de agua	Ingreso de agua fría. Salida de agua caliente. Termosifón.
Nº de puntos simultáneos	2
Número de personas	04 a 05 Duchas personas / día
Material	Termotanque de acero inoxidable
Potencia	2000 W
Regulador de presión de temperatura	Si
Aislamiento	Poliuretano Rígido Ecológico
Tipo de instalación	Red pública/ Reservorio de agua o mixta

<b>Almacenaje caliente</b>	Hasta 24 horas
<b>Válvula antiretorno</b>	Si
<b>Color</b>	Aluminio
<b>Garantía</b>	5 años (Termotanque y colector solar), 1 año (Sistema auxiliar eléctrico) y 06 meses (Accesorios, tuberías y válvulas).
<b>Características</b>	Mayor tiempo de vida útil, el colector posee una carcasa de aluminio anodizado pesado y extra fuerte, Ideal para zonas de humedad elevada y zonas cerca al mar. Fondo de colector solar metálico de alta resistencia mecánica y embate de las lluvias. Irrompible, colector con vidrio solar prismático templado de 4.00mm de espesor con textura anti-reflectiva. Resiste impactos de 300 kg/m <sup>2</sup> ; es decir de hasta 4 personas/m <sup>2</sup> sin romperse.
<b>Incluye</b>	Instalación gratuita.
<b>Instalación</b>	Se requiere: Arranques: 01 arranque de agua fría de 3/4" y 01 arranque de agua caliente de 3/4" (puntos no más de 2.5 m de radio). Espacio requerido: 4.5 m x 4.5 m. Este espacio debe estar limpio, libre de sombra y resistente al precio en bruto. Arranque sistema eléctrico: 01 llave termo magnética de 2x 32 Amperios en tablero general y tendido de cables # 12 (ida y vuelta) hasta el lugar de instalación.
<b>Observaciones</b>	La instalación es gratis en cualquier punto de venta de Sodimac - ciudad. Fuera de esta zona, solo se aplicará una tarifa por traslado del instalador. Si el cliente decide hacer la instalación por su cuenta, ésta pierde toda la garantía de fábrica.
<b>Detalles adicionales</b>	Superficie selectiva, posee aletas de aluminio con tratamiento superficial de Oxidación Anódica de Cromo Negro. Fuerte aislamiento, con lana de vidrio y/o poliuretano rígido ecológico de 30 mm de espesor. Menos pérdidas de calor. 100% de contacto entre placa selectiva y tubos de elevación de cobre mediante proceso de soldadura por ultrasonido. Eficiencia energética media 60.2%. Producción energética de 84.7 kw-h/mes-m <sup>2</sup>
<b>Grupo</b>	Termas solares
<b>Categoría</b>	Baños

Fuente: Sodimac

**Anexo N°7:**

Detalle de los costos del Estudio, Diseño e Implementación de un Sistema de Energía Solar en el Barrio Puerto Roma. Fuente: Gustavo González Peñafiel, Juan Zambrano Manosalvas y Edison Estrada Pulgar. Esta implementación se tomó en consideración como parte de los presupuestos de los paneles fotovoltaicos.

**COSTOS DE LOS KITS SOLARES**

N°	Cant.	Descripción	Costo Unit.	Totales
1	5	Paneles fotovoltaicos 85 Watts Tynsolar	\$270.20	\$1,351.00
2	5	Inversores 300 Watts Avtek	\$49.90	\$249.50
3	5	Reguladores de carga Phocos	\$80.00	\$400.00
4	5	Baterías de Gel Milleniun Narada	\$349.44	\$1,747.20
			TOTAL	\$3,747.70
			IGV	\$674.59
			<b>TOTAL US (\$):</b>	<b>\$4,422.29</b>

**COSTO DE LOS TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN**

N°	Cant.	Descripción	Costo Unit.	Totales
1	5	Cajas Metálicas 40x40x20 cm	\$40.20	\$201.00
2	5	Canaletas Ranuradas 25 x25mm	\$3.25	\$16.25
3	60	Borneras para Cable # 8 thhn	\$1.25	\$75.00
4	10	Breaker para riel din 2 Amp	\$4.15	\$41.50
5	20	Metros de cable # 14 thhn	\$0.54	\$10.80
6	25	Tapas finales para riel din	\$1.10	\$27.50
7	2	Riel Din	\$1.20	\$2.40
8	100	tornillos Autorroscable 1/2" x 8	\$0.03	\$3.00
			TOTAL	\$377.45
			IGV	\$67.94
			<b>TOTAL US (\$):</b>	<b>\$445.39</b>

**COSTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

N°	Cant.	Descripción	Costo Unit.	Totales
1	500	Metros de cable # 16 thhn	\$0.25	\$125.00
2	20	Cajas 4x2 PVC	\$0.50	\$10.00
3	25	Cajas Octogonales	\$0.50	\$12.50
4	25	Boquillas ticino	\$0.90	\$22.50
5	8	Interruptores Dobles	\$0.84	\$6.72
6	50	Metros de Cable Concéntrico 3x12 thhn	\$1.95	\$97.50
7	60	Conectores 1/2"	\$0.25	\$15.00
8	100	Grapas de 1/2 "	\$0.25	\$25.00
9	50	Tubos de 1/2 "	\$0.80	\$40.00
10	8	Tomacorrientes dobles Cooper	\$0.90	\$7.20

11	10	Cintas Aislantes 3 M.	\$0.80	\$8.00
			TOTAL	\$221.92
			IGV	\$39.95
			TOTAL US (\$):	\$261.87

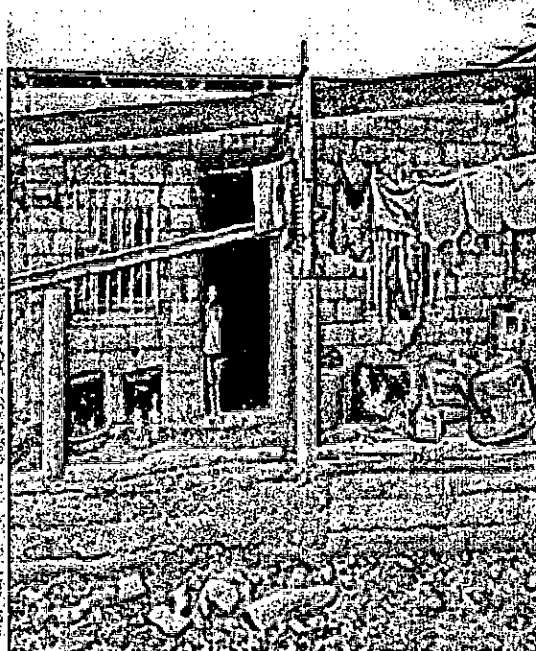
#### GESTIÓN Y COMUNICACIÓN

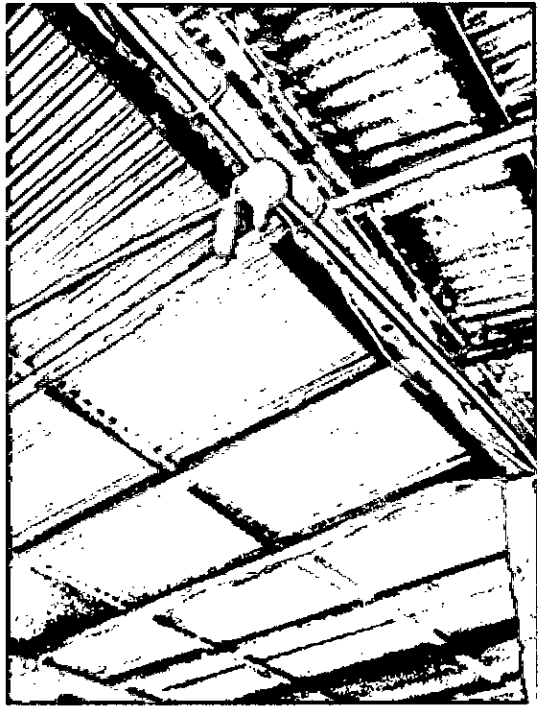
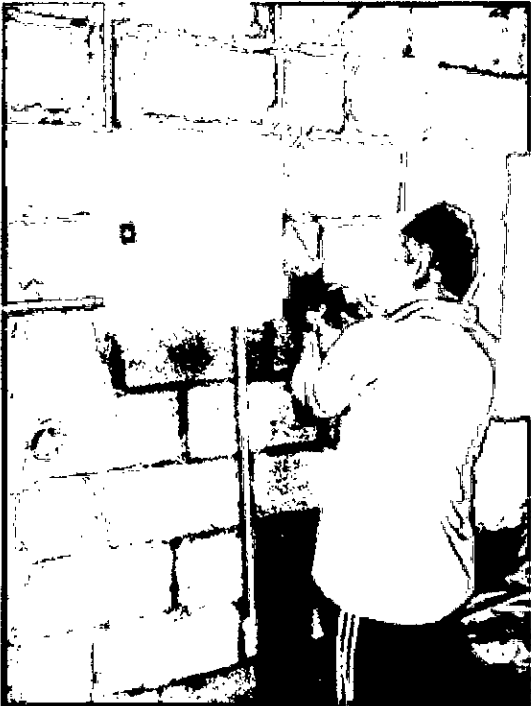
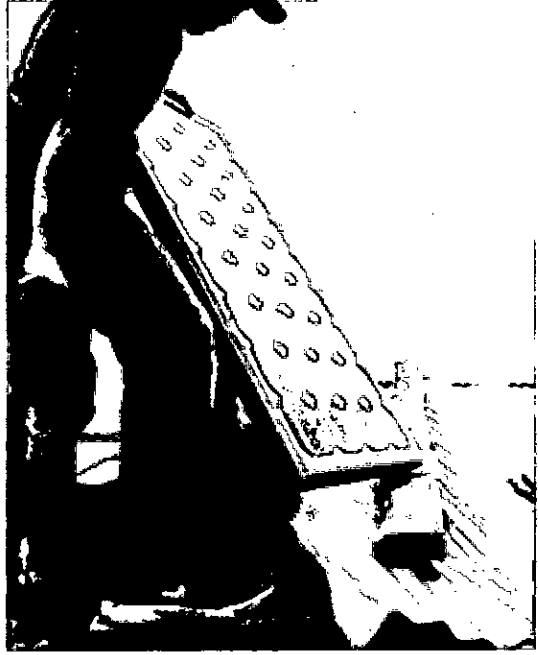
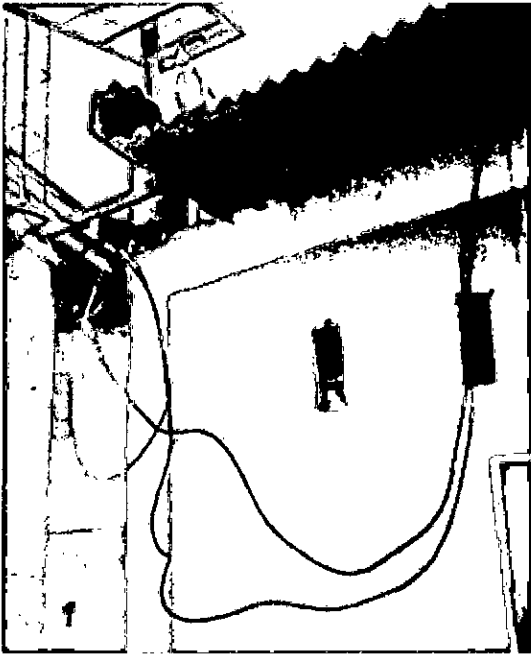
N°	Cant.	Descripción	Costo Unit.	Totales
1	1	Estructuras Metal.Mecánicas	\$700.00	\$700.00
2	5	Transporte	\$80.00	\$400.00
3	15	Alimentación	\$3.00	\$45.00
4	1	Gestión y Comunicación	\$200.00	\$200.00
			TOTAL	\$1,646.81
			IGV	\$296.43
			TOTAL US (\$):	\$1,943.24

#### COSTO TOTAL DEL PROYECTO


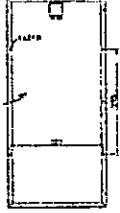
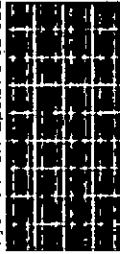
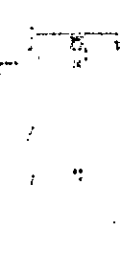

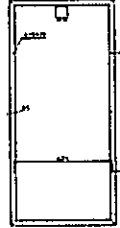
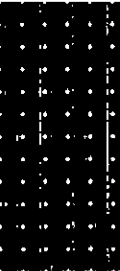

N°	Descripción	Totales (Incl. IGV)
1	Costos de los Kits Solares	\$4,422.29
2	Costos de los Tableros de Distribución	\$445.39
3	Costo de la Instalación Eléctrica	\$261.87
4	Gestión y Comunicación	\$1,943.24
		TOTAL US(\$):
		\$7,072.78

Estas son algunas imágenes:

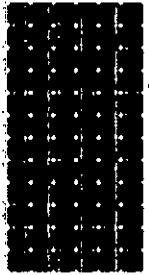
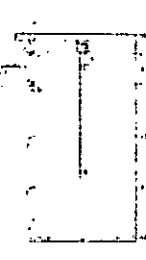




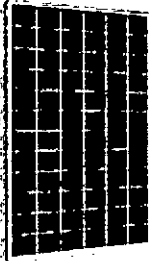





**Anexo N°8: Especificaciones técnicas de paneles fotovoltaicos**

Precios Sin IGV	Foto	Voltaje máx. Voc*	Voltaje MPP Vmpp*	Corriente max Isc *	Corriente MPP Impp *	Tipo / Diodos	Medidas (mm)	Bosquejo
<p><b>Monocrystalino 100Wp / 12V \$120,- USD</b></p>		21.8V	17.6V	5.51A	5.11A	Mono 36 cel/ Si	1200x540x35	
<p><b>Policristalino 140Wp / 12V \$160,- USD</b></p>		22.3V	18.00V	8.25A	7.78A	Poli 36 cel/ Si	1482x676x50	
<p><b>Monocrystalino 150Wp / 12V \$180,- USD</b></p>		22.6V	18.01V	8.88A	8.42A	Mono 36 cel/ Si	1482x676x35	
<p><b>Monocrystalino 190Wp / 24V \$230,- USD</b></p>		44.5V	36.5V	5.77A	5.34A	Mono 72 cel/ Si	1580x808x40	



<p><b>Monocrystalino</b>  <b>200Wp / 24V</b>  <b>\$240,- USD</b></p>		<p>44.5V</p>	<p>36.5V</p>	<p>5.77A</p>	<p>5.34A</p>	<p>Mono 72 cel/ Si</p>	<p>1580x808x40</p>	
<p><b>Policristalino</b>  <b>250Wp / 30V</b>  <b>SOLO SISTEMAS MPPT</b>  <b>\$280,- USD</b></p>		<p>36.6V</p>	<p>29.50V</p>	<p>8.42A</p>	<p>7.80A</p>	<p>Poli 60 cel/ Si</p>	<p>1640x992x40</p>	
<p><b>Policristalino</b>  <b>275Wp / 30V</b>  <b>SOLO SISTEMAS MPPT</b>  <b>\$320,- USD</b></p>		<p>36.6V</p>	<p>29.50V</p>	<p>8.42A</p>	<p>7.80A</p>	<p>Poli 60 cel/ Si</p>	<p>1640x992x40</p>	
<p><b>Policristalino</b>  <b>300Wp / 24V</b>  <b>\$330,- USD</b></p>		<p>45.0V</p>	<p>37.8V</p>	<p>8.93A</p>	<p>8.26A</p>	<p>Poli 72 cel/ Si</p>	<p>1956x992x40</p>	

Fuente: Pro Viento S.A.C.

# TECHNICAL DATA SHEET

## SM536-85, SM536-90, SM536-95



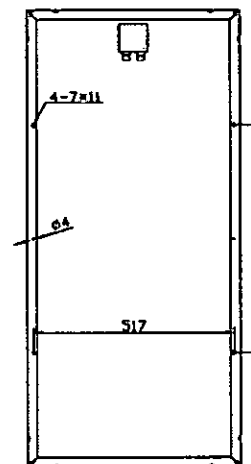
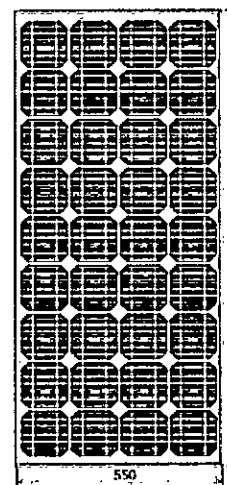
### Technical Data

Type	SM536-85, SM536-90, SM536-95
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 125mm×125mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1200×540×35mm ( 125×125mm cell)
Module, Weight	8 kg
Connector / Cross-Section	Cix Renhe, TOP
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium

### Electrical Data

	$P_{MPP, STC}$	85 W	90 W	95 W
Maximum Power				
Power Tolerance	$\Delta_{STC}$	± 2%	± 2%	± 2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP, STC}$	17.4 V	17.6 V	17.8 V
Maximum Power Current	$I_{MPP, STC}$	4.89 A	5.11 A	5.33 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC, STC}$	21.6 V	21.8 V	22.2 V
Short Circuit Current	$I_{SC, STC}$	5.25 A	5.51 A	5.79 A
Cell Efficiency	$\eta_{STC}$	15.9%	16.8%	17.8%
Maximum System Voltage	$U_{OC}$	700 V	700 V	700 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s



### Temperature Coefficients

Power Coefficient	$\alpha_p (P_{MPP})$	- 0.45 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_p (U_{OC})$	- 0.35 %/K
Current Coefficient	$\phi_p (I_{SC})$	0.065 ± 0.015 %/K

### Power Warranty

- 10 years performance warranty to 90 %
- 25 years performance warranty to 80 %
- 5 years warranty against production and material defects

### Certifications

IEC 61215, IEC 61730, TUV, CE, ISO9001:2000

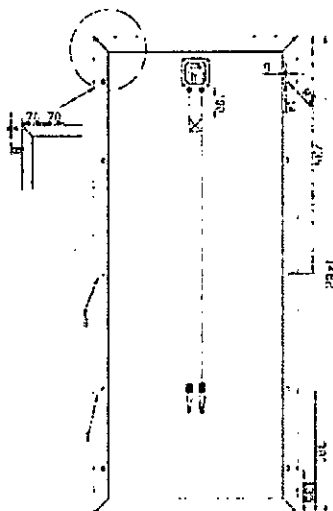
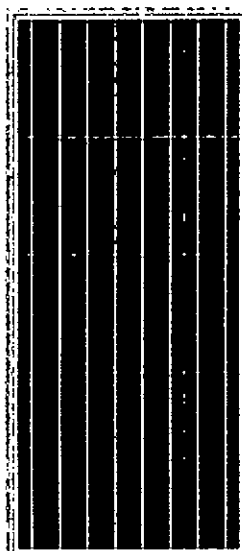
Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:belbanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China

Tel: +86-512-53378555 Fax: +86-512-53378556

Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com jacky@simaxsolar.com



# SIMAX 156 Polycrystalline Solar Module (SP636-125W-145W)



## Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon solar cell 156x156(mm)
No. of Cells	36(4x9)
Dimensions	1482x676x50(mm)
Weight	14kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

## Output

Cable Type	$\Phi=4\text{mm}^2$
Lengths	L=900mm
Junction Box	PV-GZX0601 MC3 or MC4

## Temperature Coefficients

Nominal operating cell temperature(NOCT)	$45\pm 2^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Pmax	$-0.39\%/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Voc	$-0.34\%/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Isc	$0.035\%/^\circ\text{C}$

## Electrical Specifications

Parameter	SP636-125	SP636-130	SP636-135	SP636-140	SP636-145
Peak power Pm(W)	125 $\pm$ 3%	130 $\pm$ 3%	135 $\pm$ 3%	140 $\pm$ 3%	145 $\pm$ 3%
Open circuit voltage Voc(V)	21.7	21.7	22.3	22.3	22.9
Max. power voltage Vmp(V)	17.7	17.5	18	18	18.5
Max. power current Imp(A)	7.14	7.43	7.5	7.78	7.84
Short circuit current Isc(A)	7.57	7.87	7.95	8.25	8.31
Dimensions(L*W*H)	1482*676*50				
Weight(kg)	14				
Max. over-current (A)	14				
Max. system voltage (V)	-1000V DC				
Application Class	Class A				
Mono crystalline silicon solar cell	156x156*0.19mm				
No. of cells and connections	36 series				
No. of bypass diodes	6				
Bypass diode rating (A)	10				
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200				
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0				
STC:	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5				
Maximum No. of series connection	43				
Maximum No. of parallel connection	2				

# TECHNICAL DATA SHEET

## SM636-150



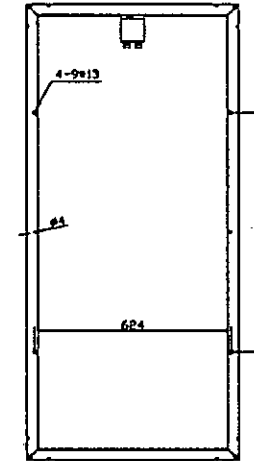
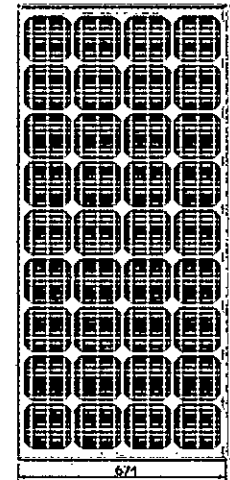
### Technical Data

Type	SM636-150
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1482×676×35mm (156×156mm cell)
Module, Weight	12 kg
Connector / Cross-Section	Cxl Renhe
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium

### Electrical Data

Maximum Power	$P_{MPP, STC}$	150 W
Power Tolerance	$\Delta_{STC}$	+2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP, STC}$	18.1 V
Maximum Power Current	$I_{MPP, STC}$	8.42 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC, STC}$	22.6 V
Short Circuit Current	$I_{SC, STC}$	8.88 A
Cell Efficiency	$\eta_{STC}$	15.5 %
Maximum System Voltage	$U_{DC}$	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s



### Temperature Coefficients

Power Coefficient	$\alpha_p (P_{MPP})$	-0.50 ± 0.05 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_v (U_{OC})$	-0.35 ± 0.01 %/K
Current Coefficient	$\phi_i (I_{SC})$	0.06 ± 0.01 %/K

### Power Warranty

- 10 years performance warranty to 90 %
- 25 years performance warranty to 80 %
- 5 years warranty against production and material defects

### Certifications

IEC 61215, IEC 61730, TUV, CE, ISO9001:2000

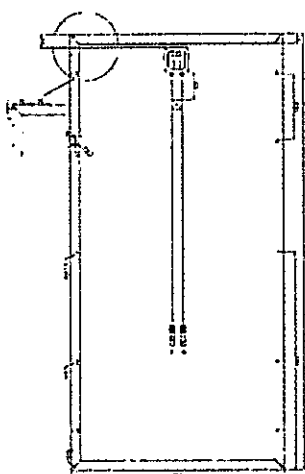
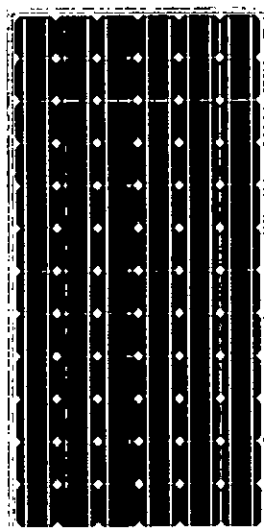
Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:beibanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China

Tel:+86-512-53378555 Fax: +86-512-53378556

Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com



# SIMAX 125 Monocrystalline Solar Module (SM572-165W-195W)



## Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon solar cell 125x125(mm)
No. of Cells	72(6x12)
Dimensions	1580x808x45/35/50(mm)
Weight	15.5kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

## Output

Cable Type	$\Phi=4\text{mm}^2$
Lengths	L=900mm
Junction Box	PV-GZX0601 MC3 or MC4

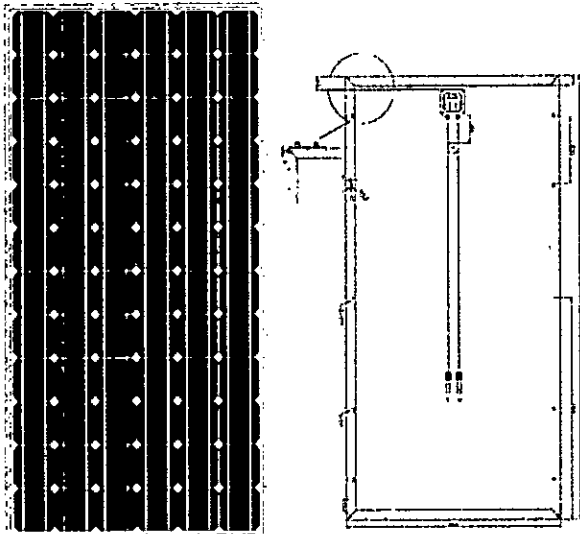
## Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature(NOCT)	$45 \pm 2^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.052%/°C

## Electrical Specifications

Parameters	SM572-165	SM572-170	SM572-175	SM572-180	SM572-185	SM572-190	SM572-195
Peak power Pm(W)	165±3%	170±3%	175±3%	180±3%	185±3%	190±3%	195±3%
Open circuit voltage Voc(V)	42.7	43.3	43.3	43.9	43.9	44.5	44.5
Max. power voltage Vmp(V)	35	35.5	35.5	36.0	36.0	36.5	36.5
Max. power current Imp(A)	4.71	4.79	4.93	5.00	5.14	5.21	5.34
Short circuit current Isc(A)	5.04	5.08	5.23	5.30	5.45	5.52	5.77
Dimensions(L*W*H)	1580*808*45/35/50						
Weight(kg)	15.5						
Max. over-current (A)	10						
Max. system voltage (V)	1000V DC						
Application Class	Class A						
Mono crystalline silicon solar cell	125*125*0.19mm						
No. of cells and connections	72 series						
No. of bypass diodes	3						
Bypass diode rating (A)	10						
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200						
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0						
STC	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5						
Maximum No. of series connection	22						
Maximum No. of parallel connection	2						

# SIMAX 125 Monocrystalline Solar Module (SM572-165W-195W)



## Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon solar cell 125x125(mm)
No. of Cells	72(6x12)
Dimensions	1580x808x45/35/50(mm)
Weight	15.5kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

## Output

Cable Type	$\Phi=4\text{mm}^2$
Lengths	L=900mm
Junction Box	PV-GZX0601 MC3 or MC4

## Temperature Coefficients

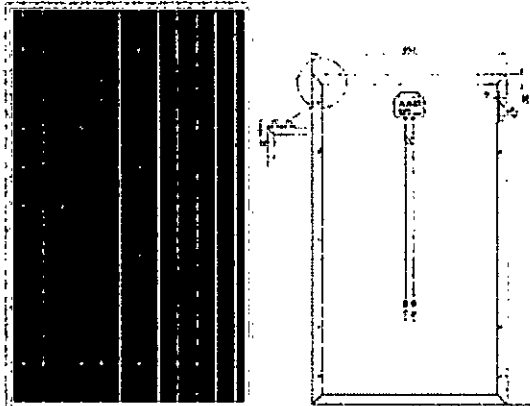
Nominal Operating Cell Temperature(NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.052%/°C

## Electrical Specifications

Parameters	SM572-165	SM572-170	SM572-175	SM572-180	SM572-185	SM572-190	SM572-195
Peak power Pm(W)	165±3%	170±3%	175±3%	180±3%	185±3%	190±3%	195±3%
Open circuit voltage V <sub>oc</sub> (V)	42.7	43.3	43.3	43.9	43.9	44.5	44.5
Max. power voltage V <sub>mp</sub> (V)	35	35.5	35.5	36.0	36.0	36.5	36.5
Max. power current I <sub>mp</sub> (A)	4.71	4.79	4.93	5.00	5.14	5.21	5.34
Short circuit current I <sub>sc</sub> (A)	5.04	5.08	5.23	5.30	5.45	5.52	5.77
Dimensions(L*W*H)	1580*808*45/35/50						
Weight(kg)	15.5						
Max. over-current (A)	10						
Max. system voltage (V)	1000V DC						
Application Class	Class A						
Mono crystalline silicon solar cell	125*125*0.19mm						
No. of cells and connections	72 series						
No. of bypass diodes	3						
Bypass diode rating (A)	10						
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200						
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0						
STC	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5						
Maximum No. of series connection	22						
Maximum No. of parallel connection	2						



## SIMAX 156 Solarmodule (SP660-230W-235W-240W-245W-250W)



### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 ( 6 x 10 )
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	20 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

### Output

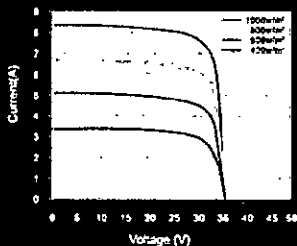
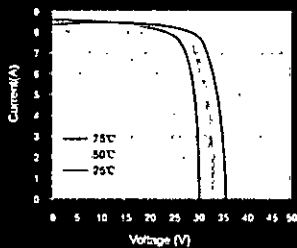
Cable Type	Ø = 4 mm <sup>2</sup>
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

### Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P <sub>max</sub> )	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V <sub>oc</sub> )	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I <sub>sc</sub> )	0.035% / °C



Parameters	SP660-230	SP660-235	SP660-240	SP660-245	SP660-250
Peak power [Wp] P <sub>mp</sub>	230W	235W	240W	245W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%
Module Efficiency (%)	14.3%	14.5%	14.7%	14.9%	15.2%
Open circuit voltage [V] V <sub>oc</sub>	36.6	37.2	37.2	37.2	37.8
Maximum Power Voltage [V] (V <sub>mp</sub> )	29.5	30.0	30.0	30.0	30.5
Maximum Power Current [A] (I <sub>mp</sub> )	7.80	7.83	8.00	8.17	8.20
Short circuit Current [A] (I <sub>sc</sub> )	8.42	8.46	8.65	8.74	8.85



STC: Irradiance : 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years

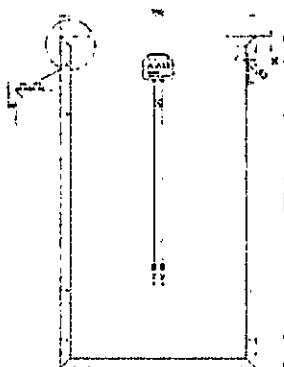
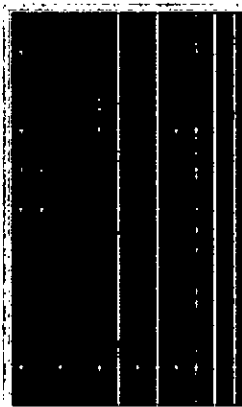
Simax Green New Energy (Europa) GmbH  
Mergenthaler Allee 23 / 25  
65760 Eschborn / Germany  
Tel: +49 6196 9739 525  
Fax: +49 6196 5929 684  
info@simaxsolar.com  
www.simaxsolar.de

Simax (Suzhou) Green New Energy Co., Ltd  
Address: No. 587 Suzhou Road, Taicang city,  
Jiangsu province, China  
P.C.: 215400  
Tel: +86 512 5337 8555  
Fax: +86 512 5337 8556  
info@simaxsolar.com  
www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd  
5/78 Frankston Gardens Drive,  
Carrum Downs, VIC 3210  
Tel: +61 03 9708 2400  
Fax: +61 03 9708 2482  
info@simaxsolar.com  
www.simaxsolar.com.au



## SIMAX 156 Solarmodule (SP660-230W-235W-240W-245W-250W)



### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 ( 6 x 10 )
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	20 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

### Output

Cable Type	Ø = 4 mm <sup>2</sup>
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

### Temperature Coefficients

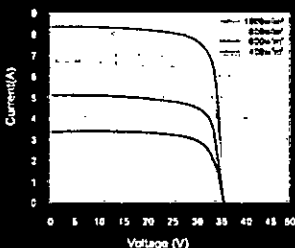
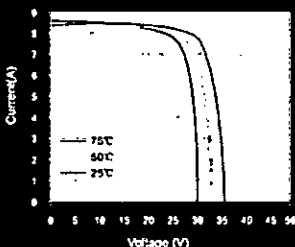
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P <sub>max</sub> )	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V <sub>oc</sub> )	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I <sub>sc</sub> )	0.035% / °C



Photon

Parameters	SP660-230	SP660-235	SP660-240	SP660-245	SP660-250
Peak power [Wp] P <sub>mp</sub>	230W	235W	240W	245W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%	0~+/-3%
Module Efficiency (%)	14.3%	14.5%	14.7%	14.9%	15.2%
Open circuit voltage [V] V <sub>oc</sub>	36.6	37.2	37.2	37.2	37.8
Maximum Power Voltage [V] (V <sub>mp</sub> )	29.5	30.0	30.0	30.0	30.5
Maximum Power Current [A] (I <sub>mp</sub> )	7.80	7.83	8.00	8.17	8.20
Short circuit Current [A] (I <sub>sc</sub> )	8.42	8.46	8.65	8.74	8.85

STC: Irradiance : 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s



- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years

Simax Green New Energy (Europa) GmbH  
 Mergenthaler Allee 23 / 25  
 65760 Eschborn / Germany  
 Tel : +49 6196 9739 525  
 Fax : +49 6196 5629 684  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.de

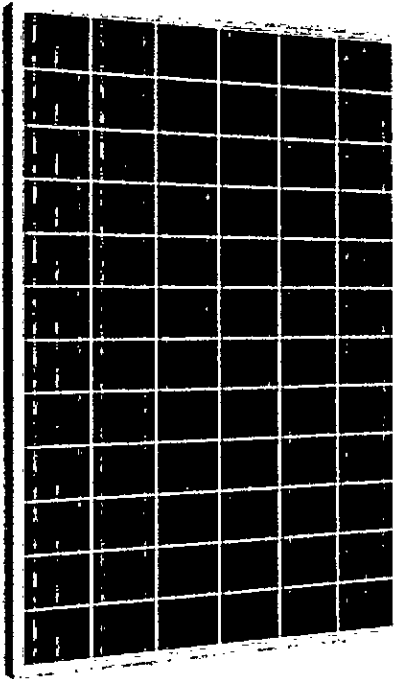
Simax (Suzhou) Green New Energy Co.,Ltd  
 Address: No. 567 Suzhou Road, Taicang city,  
 Jiangsu province, China  
 P.C.: 215400  
 Tel: +86 512 5337 8556  
 Fax: +86 512 5337 8556  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd  
 578 Frankston Gardens Drive,  
 Carrum Downs, VIC 3210  
 Tel: +61 03 9708 2400  
 Fax: +61 03 9708 2482  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.com.au





Product Features



**Positive tolerance**  
Guaranteed tolerance +3%  
Reliable power output



**High module efficiency**  
Module efficiency up to 15.7%  
Cells efficiency up to 17.8%



**Strong compressive strength**  
Certified to withstand high wind of 2400Pa  
and snow loads of 5400Pa



**High manufacture standards**  
certified to high standards by the  
most reputable labs According to  
IEC:61215: IEC:61730-1/2



**International Management System**  
Manufactured and certified according  
to ISO9001, Quality management system



**Fire test approved**  
Application class A, Safety Class II, Fire Rating C



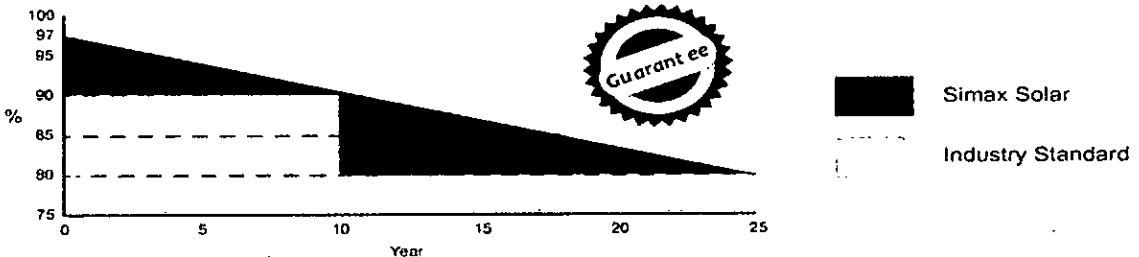
**Excellent performance under extreme condition**  
High salt mist and ammonia resistance



**Reliable quality forever**  
Without potential induced  
degradation(PID-free)

Leading Warranty in PV Industry

- 25 year transferrable power output warranty: 10 years / 90%, 25 years / 80%
- Linear performance warranty from SIMAX Power
- 12 year material and workmanship warranty



\* Please refer to Simax Solar Product Warranty for details.

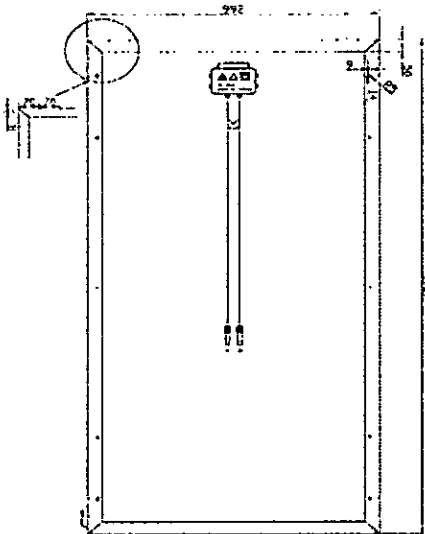




**Electrical Characteristics**

Parameters	SP672-280		SP672-285		SP672-290		SP672-295		SP672-300		SP672-305		SP672-310	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Peak power [Wp] $P_{mp}$	280W	208W	285W	212W	290W	215W	295W	219W	300W	226W	305W	224W	310W	228W
Open circuit voltage [V] $V_{oc}$	44.4	44.7	44.4	45.0	44.4	45.3	45.0	45.5	45.0	45.8	45.2	45.8	45.5	45.8
Maximum Power Voltage [V] ( $V_{mp}$ )	29.5	37.2	35.8	37.4	35.8	37.4	36.3	37.8	36.3	38.0	36.5	38.0	36.8	38.0
Maximum Power Current [A] ( $I_{mp}$ )	7.82	5.59	7.96	5.65	8.10	5.76	8.13	5.79	8.26	5.95	8.35	5.91	8.42	6.05
Short circuit Current [A] ( $I_{sc}$ )	8.45	5.94	8.60	5.99	8.71	6.06	8.78	6.12	8.93	6.25	8.95	6.89	9.01	7.21
Power Tolerance	0→+3%		0→+3%		0→+3%		0→+3%		0→+3%		0→+3%		0→+3%	
Module Efficiency (%)	14.5%		14.7%		14.9%		15.3%		15.5%		15.7%		16.0%	

STC: Irradiance : 1000 W/m<sup>2</sup> ; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s  
 NOCT: Irradiance, 800W/m<sup>2</sup> ; Spectrum AM 1.5; ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s



**Mechanical Characteristics**

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156 x 156 (mm)
No. of Cells	72 ( 6 x 12 )
Dimensions	1956 x 992 x 40 mm
Weight	22.5 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

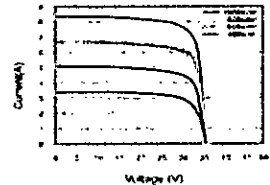
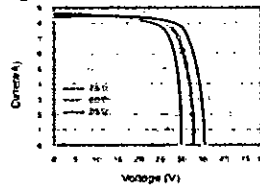
**Output**

Cable Type	Ø = 4 mm <sup>2</sup>
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB001 MC4

**Temperature Coefficients**

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2 °C
Temperature Coefficient of ( $P_{max}$ )	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of ( $V_{oc}$ )	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of ( $I_{sc}$ )	0.035% / °C

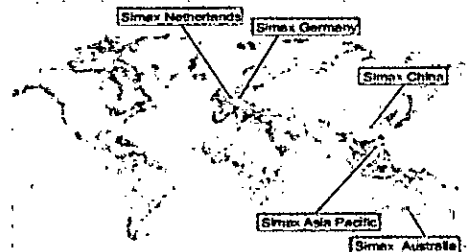
- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years










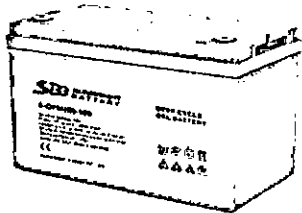
Global standby to ensure response within 24 hours  
 Australia and Europe office were established to give better services to customers

Simax Green New Energy (Europe) GmbH  
 Mergenthaier Allee 23 / 25  
 65760 Eschborn / Germany  
 Tel.: +49 6190 9739 525  
 Fax: +49 6190 9829 684  
 info@simaxsolar.de  
 www.simaxsolar.de

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd  
 5 / 78 Frankston Gardens Drive,  
 Carrum Downs, VIC 3210  
 Tel: +61 3 9708 2400  
 Fax: +61 3 9708 2482  
 info@simaxsolar.com.au  
 www.simaxsolar.com.au



### Anexo N°9: Especificaciones técnicas de baterías

Modelo	Origen	Potencia	Descripción	Foto	Precio (USD sin IGV)
Batería sbb AGM 7Ah / 12VDC		12 VDC 7Ah @ C20h	Una batería sellada AGM para todo uso, como p.e. datalogger, señales, ruteadores... Vida de diseño Float: 3 .. 5 años Ciclos: 1200 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 151 x 65 x 93 mm Peso: 2 kg		\$15,- USD
Batería sbb AGM 20Ah / 12VDC		12 VDC 20Ah @ C20h	Una batería sellada AGM para sistemas fotovoltaicos pequeños de hasta 50Wp en paneles... Vida de diseño Float: 3 ... 5 años Ciclos: 1200 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 181 x 77 x 167 mm Peso: 5.5 kg		\$35,- USD
Batería sbb GEL 55Ah / 12VDC		12 VDC 55Ah @ C10h	Una excelente batería sellada GEL de CICLO PROFUNDO para sistemas fotovoltaicos medianas de hasta 100Wp en paneles... Vida de diseño Float: 10 .. 12 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 230 x 137 x 210 mm Peso: 17 kg		\$140,- USD
Batería sbb GEL 100Ah / 12VDC		12 VDC 100Ah @ C10h	Una excelente batería sellada GEL de CICLO PROFUNDO para sistemas fotovoltaicos medianas y grandes! Vida de diseño Float: 10 ... 12 años Ciclos: 2400 ciclos a 30% DOD Dimensiones: 330 x 173 x 217 mm Peso: 31 kg		\$280,- USD

Fuente: Pro Viento S.A.C.

## 6-FM-7Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V and 6V. And the capacity ranges from 1.2Ah to 24Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction		General Features	
Component	Material	Maintenance free	
Positive plate	Lead dioxide	Convenient for installation	
Negative plate	Lead	Safety and no leakage	
Container	ABS	Excellent recharge and discharge performance	
Cover	ABS	Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25°C	
Safety valve	Rubber	Adapt to high or low temperature	
Terminal	Copper	Good deep discharge performance	
Separator	AGM glass	Longer cycle life	
Electrolyte	Sulfuric acid	UL approval	

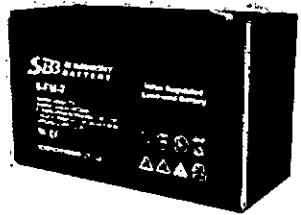
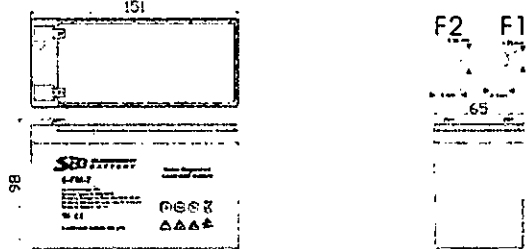
Performance Characteristics	
<b>1. Dimension and weight</b>	
Length	151mm
Width	65mm
Height	94mm
Total Height	98mm
Reference Weight	2.2kg
<b>5. Charge Method: constant-voltage charging at 25°C (77° F)</b>	
Cyclic use	14.4~14.9V
Maximum charging current	2.1A
Temperature Compensation	-30mV/°C
Float Use	13.6~13.8V
Temperature Compensation	-20mV/°C

2. Functional Parameter		6. Environment Temperature Requirements	
Rated Voltage	12V	Discharge Temperature	-15~50°C
Numbers of cells	6 Cells	Charge Temperature	0~40°C
Designed Life	3-5 Years	Storage Temperature	-15~40°C

3. Rated Capacity at 25°C (77° F)		7. Inner Resistance & Max. Discharge Current	
20 hr rate (0.05C, 10.8V)	7Ah	A fully charged battery at 25°C (77° F)	28mΩ
5 hr rate (0.165C, 10.8V)	5.8Ah	Max. Discharge Current	105A (5s)
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	4.13Ah	Short Circuit Current	350A

4. Capacity affected by Temperature (20hour rate)		8. Self-discharge	
40°C (104° F)	103%	3% Of the capacity per month at 25°C (77° F)	
25°C (77° F)	100%	Capacity after 3 month storage	91%
0°C (32° F)	85%	Capacity after 6 month storage	82%
-15°C (5° F)	65%	Capacity after 12 month storage	64%

**Dimensions (mm)** **3D Model Review**



**Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)**

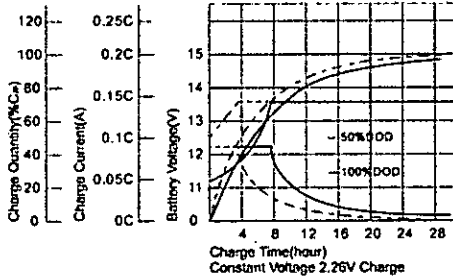
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	17.90	13.10	10.20	8.67	6.69	4.86	3.94	1.75	1.16	0.65	0.350
1.75V/cell	20.20	14.40	11.20	9.32	6.94	5.04	4.13	1.79	1.19	0.67	0.354
1.70V/cell	22.20	15.70	11.90	9.80	7.23	5.24	4.26	1.83	1.22	0.68	0.360
1.65V/cell	24.50	16.90	12.70	10.40	7.63	5.37	4.35	1.91	1.25	0.70	0.365
1.60V/cell	27.00	18.40	13.60	11.10	8.05	5.60	4.40	1.97	1.30	0.70	0.367

**Constant-current discharge parameter Unit: V (25°C)**

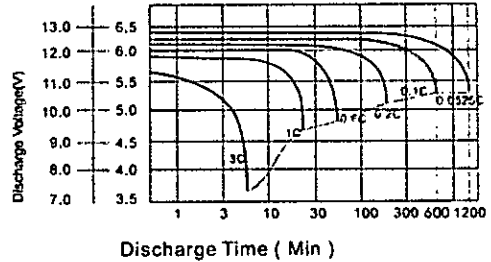
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	32.40	23.90	18.90	16.10	12.60	9.26	7.57	3.40	2.26	1.29	0.692
1.75V/cell	35.70	25.80	20.30	17.20	12.90	9.52	7.88	3.45	2.31	1.32	0.698
1.70V/cell	38.20	27.50	21.40	17.90	13.40	9.86	8.10	3.54	2.37	1.35	0.710
1.65V/cell	41.60	29.40	22.60	18.90	14.00	10.00	8.23	3.67	2.43	1.37	0.719
1.60V/cell	44.80	31.20	23.80	19.90	14.70	10.40	8.26	3.76	2.50	1.38	0.722

**6-FM-7Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification**

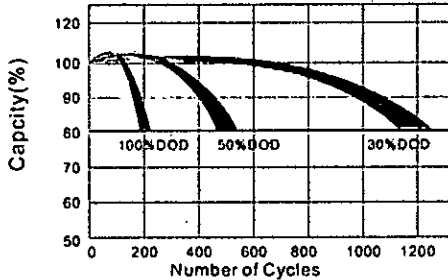
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



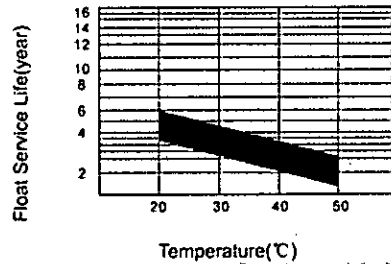
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



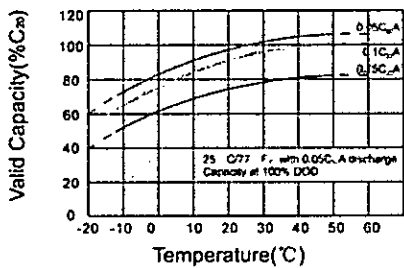
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



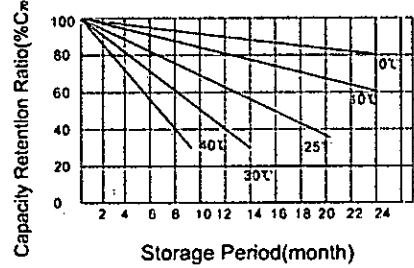
Float Service Life



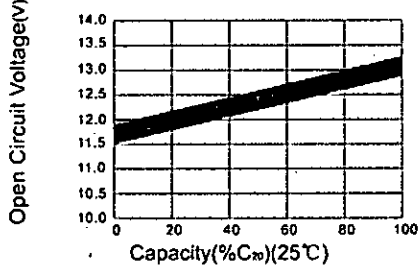
Temperature and Valid Capacity



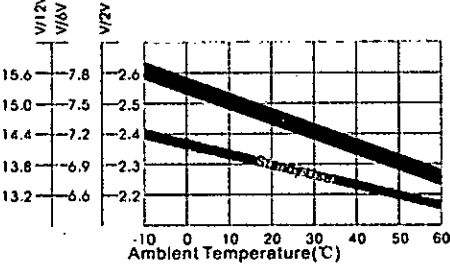
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



**6-FM-20Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification**

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V and 6V. And the capacity ranges from 1.2Ah to 24Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction		General Features
Component	Material	Maintenance free
Positive plate	Lead dioxide	Convenient for installation
Negative plate	Lead	Safety and no leakage
Container	ABS	Excellent recharge and discharge performance
Cover	ABS	Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25°C
Safety valve	Rubber	Adapt to high or low temperature
Terminal	Copper	Good deep discharge performance
Separator	AGM glass	Longer cycle life
Electrolyte	Sulfuric acid	UL approval

Performance Characteristics	
<b>1. Dimension and weight</b>	
Length	181mm
Width	77mm
Height	167mm
Total Height	167mm
Reference Weight	5.5kg
<b>2. Functional Parameter</b>	
Rated Voltage	12V
Numbers of cells	6 Cells
Designed Life	3-5 Years
<b>3. Rated Capacity at 25°C (77°F)</b>	
20 hr rate (0.05C, 10.8V)	20Ah
5 hr rate (0.165C, 10.8V)	16.5Ah
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	11.8h
<b>4. Capacity affected by Temperature (20hour rate)</b>	
40°C (104°F)	103%
25°C (77°F)	100%
0°C (32°F)	85%
-15°C (5°F)	65%
<b>Dimensions (mm)</b>	
<b>5. Charge Method: constant-voltage charging at 25°C (77°F)</b>	
Cyclic use	14.4~14.9V
Maximum charging current	6A
Temperature Compensation	-30mV/°C
Floet Use	13.6~13.8V
Temperature Compensation	-20mV/°C
<b>6. Environment Temperature Requirements</b>	
Discharge Temperature	-15~50°C
Charge Temperature	0~40°C
Storage Temperature	-15~40°C
<b>7. Inner Resistance &amp; Max. Discharge Current</b>	
A fully charged battery at 25°C (77°F)	15mΩ
Max. Discharge Current	300A (5s)
Short Circuit Current	1000A
<b>8. Self-discharge</b>	
3% Of the capacity per month at 25°C (77°F)	
Capacity after 3 month storage	91%
Capacity after 6 month storage	82%
Capacity after 12 month storage	64%
<b>3D Model Review</b>	



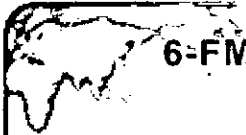
Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	51.10	37.40	29.30	24.80	19.10	13.90	11.30	5.01	3.31	1.86	1.00
1.75V/cell	57.60	41.10	32.00	26.60	19.80	14.40	11.80	5.10	3.40	1.91	1.01
1.70V/cell	63.50	44.80	34.10	28.00	20.70	15.00	12.20	5.24	3.49	1.95	1.03
1.65V/cell	70.00	48.30	36.30	29.70	21.80	15.40	12.40	5.47	3.58	1.99	1.04
1.60V/cell	77.20	52.40	38.80	31.70	23.00	16.00	12.60	5.63	3.70	2.01	1.05

Constant-current discharge parameter Unit: V (25°C)

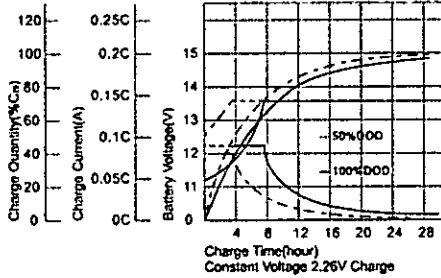
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	92.50	68.20	53.90	46.00	35.90	26.50	21.60	9.71	6.46	3.68	1.98
1.75V/cell	102.00	73.80	58.10	49.00	36.90	27.20	22.50	9.85	6.61	3.77	2.00
1.70V/cell	109.30	78.60	61.20	51.10	38.20	28.20	23.10	10.10	6.77	3.84	2.03
1.65V/cell	118.80	84.00	64.60	53.90	40.00	28.60	23.50	10.50	6.93	3.91	2.05
1.60V/cell	128.00	89.10	67.90	56.80	41.90	29.70	23.60	10.80	7.13	3.95	2.06

EDITION 2014

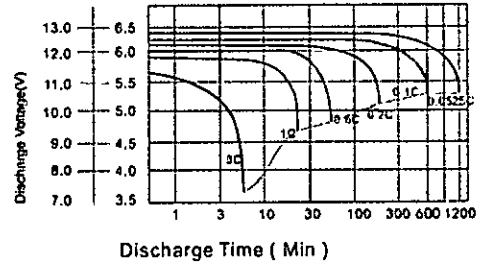


## 6-FM-20Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification

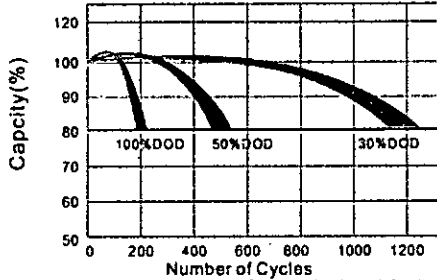
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



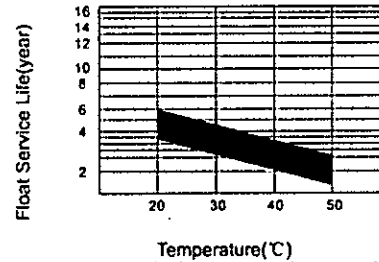
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



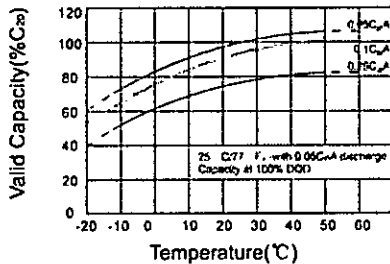
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



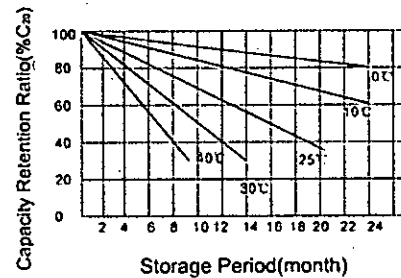
Float Service Life



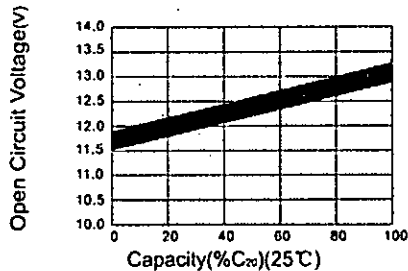
Temperature and Valid Capacity



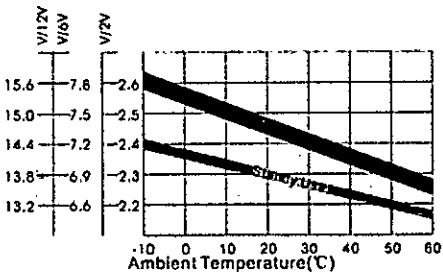
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature





## 6-FM(G)-55Ah Gel Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V. And the capacity ranges from 33Ah to 250Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction		General Features
Component	Material	Maintenance free
Positive plate	Lead dioxide	Convenient for installation
Negative plate	Lead	Safety and no leakage
Container	ABS	Excellent recharge and discharge performance
Cover	ABS	Low self-discharge rate, charge each standby 8 months, temperature 25°C
Safety valve	Rubber	Adapt to high or low temperature
Terminal	Copper	Good deep discharge performance
Electrolyte	Gelled acid	Longer cycle life
		UL approval

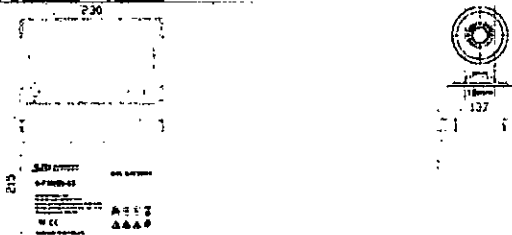
Performance Characteristics	
<b>1. Dimension and weight</b>	
Length	230mm
Width	137mm
Height	210mm
Total Height	215mm
Reference Weight	16.6kg
<b>5. Charge Method: constant-voltage charging at 25°C (77° F)</b>	
Cyclic use	14.4~14.8V
Maximum charging current	13.75A
Temperature Compensation	-30mV/°C
Float Use	13.6~13.8V
Temperature Compensation	-20mV/°C

2. Functional Parameter		6. Environment Temperature Requirements	
Rated Voltage	12V	Discharge Temperature	-20~60°C
Numbers of cells	6 Cells	Charge Temperature	0~50°C
Designed Life	10~12 Years	Storage Temperature	-20~60°C

3. Rated Capacity at 25°C (77° F)		7. Inner Resistance & Max. Discharge Current	
10 hr rate (0.1C, 10.8V)	55Ah	A fully charged battery at 25°C (77° F)	7.5mΩ
3 hr rate (0.25C, 10.8V)	39.8Ah	Max. Discharge Current	825A (5s)
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	33Ah	Short Circuit Current	2500A

4. Capacity affected by Temperature (10hour rate)		8. Self-discharge	
40°C (104° F)	103%	3% Of the capacity per month at 25°C (77° F)	
25°C (77° F)	100%	Capacity after 3 month storage	91%
0°C (32° F)	85%	Capacity after 6 month storage	82%
-15°C (5° F)	65%	Capacity after 12 month storage	64%

Dimensions (mm)		3D Model Review	
-----------------	--	-----------------	--



Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	58.50	44.75	33.65	28.22	17.61	13.27	9.29	8.01	6.38	5.50	3.02
1.75V/cell	65.73	49.21	36.43	30.27	18.57	13.99	9.65	8.30	6.59	5.61	3.08
1.70V/cell	70.80	52.71	38.72	31.96	19.78	14.59	9.95	8.59	6.79	5.74	3.11
1.65V/cell	73.70	54.76	40.04	33.17	20.26	15.08	10.16	8.72	6.89	5.81	3.15
1.60V/cell	79.85	58.62	43.06	35.22	21.11	15.68	10.47	8.94	7.01	5.92	3.20

Constant-current discharge parameter Unit: V (25°C)

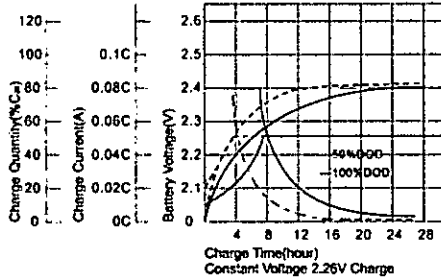
F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	110.36	85.39	64.89	54.64	34.13	25.81	18.21	15.80	12.66	10.94	6.01
1.75V/cell	122.66	93.11	69.59	58.26	36.06	27.26	18.94	16.28	13.03	11.14	6.13
1.70V/cell	130.75	98.78	73.33	61.27	38.11	28.34	19.42	16.89	13.39	11.40	6.20
1.65V/cell	134.48	101.56	75.50	63.20	38.84	29.07	19.78	17.13	13.63	11.52	6.25
1.60V/cell	144.13	107.71	80.45	66.70	40.16	30.15	20.38	17.49	13.75	11.72	6.33

EDITION 2014

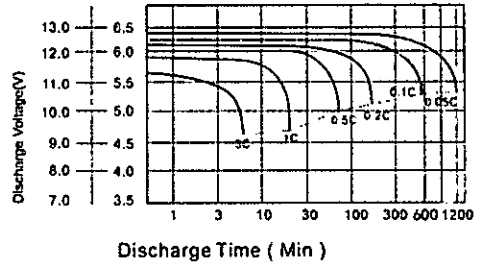


**6-FM(G)-55Ah Gel Battery Specification**

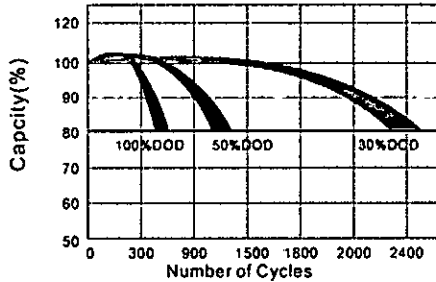
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



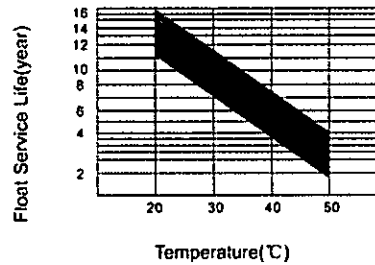
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



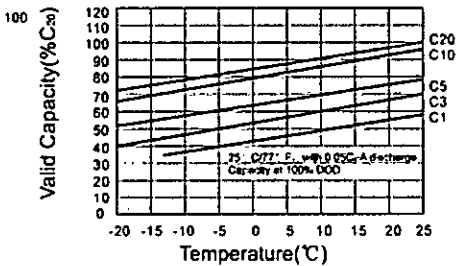
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



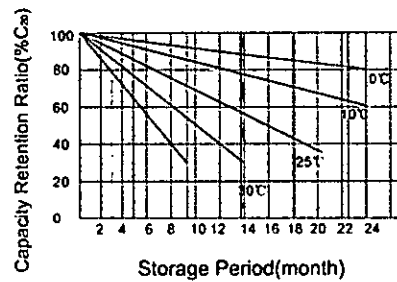
Float Service Life



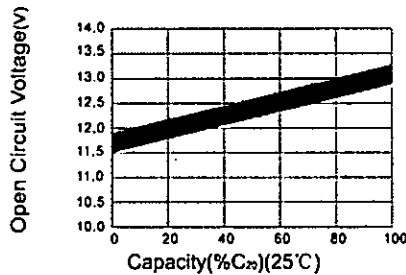
Temperature and Valid Capacity



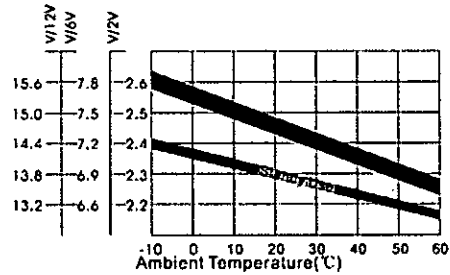
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



EDITION 2014

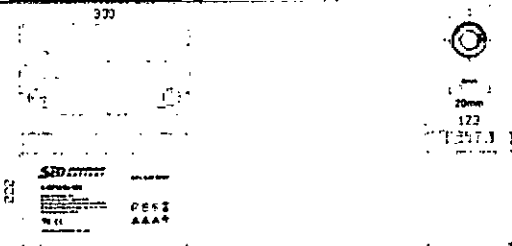


## 6-GFM(G)-100Ah Gel Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V. And the capacity ranges from 33Ah to 250Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction		Material	General Features
Component		Lead dioxide	Maintenance free
Positive plate		Lead	Convenient for installation
Negative plate		ABS	Safety and no leakage
Container		ABS	Excellent recharge and discharge performance
Cover		Rubber	Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25°C
Safety valve		Copper	Adapt to high or low temperature
Terminal		Gelled acid	Good deep discharge performance
Electrolyte			Longer cycle life
			UL approval

Performance Characteristics	
<b>1. Dimension and weight</b>	
Length	330mm
Width	173mm
Height	217mm
Total Height	222mm
Reference Weight	30.8kg
<b>2. Functional Parameter</b>	
Rated Voltage	12V
Numbers of cells	6 Cells
Designed Life	10~12 Years
<b>3. Rated Capacity at 25°C (77° F)</b>	
10 hr rate (0.1C, 10.8V)	100Ah
3 hr rate (0.25C, 10.8V)	74.6Ah
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	56.8Ah
<b>4. Capacity affected by Temperature (10hour rate)</b>	
40°C (104° F)	103%
25°C (77° F)	100%
0°C (32° F)	85%
-15°C (5° F)	65%
<b>5. Charge Method: constant-voltage charging at 25°C (77° F)</b>	
Cyclic use	14.4~14.9V
Maximum charging current	25A
Temperature Compensation	-30mV/°C
Float Use	13.6~13.8V
Temperature Compensation	-20mV/°C
<b>6. Environment Temperature Requirements</b>	
Discharge Temperature	-20~60°C
Charge Temperature	0~50°C
Storage Temperature	-20~60°C
<b>7. Inner Resistance &amp; Max. Discharge Current</b>	
A fully charged battery at 25°C (77° F)	5mΩ
Max. Discharge Current	1500A (5s)
Short Circuit Current	5000A
<b>8. Self-discharge</b>	
3% Of the capacity per month at 25°C (77° F)	
Capacity after 3 month storage	91%
Capacity after 6 month storage	82%
Capacity after 12 month storage	64%
<b>Dimensions (mm)</b>	
330	
173	
217	
222	
30.8	
<b>3D Model Review</b>	



EDITION 2014

Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	109.49	83.84	63.16	52.88	32.88	24.86	17.40	14.58	11.64	10.00	5.42
1.75V/cell	123.05	92.20	68.25	56.61	34.92	26.21	18.08	15.03	11.98	10.17	5.54
1.70V/cell	132.54	98.76	72.43	59.89	36.95	27.34	18.64	15.59	12.32	10.43	5.60
1.65V/cell	137.97	102.60	75.03	62.15	37.97	28.14	18.98	15.82	12.54	10.55	5.66
1.60V/cell	149.49	109.83	80.56	65.99	39.44	29.27	19.66	16.27	12.77	10.77	5.74

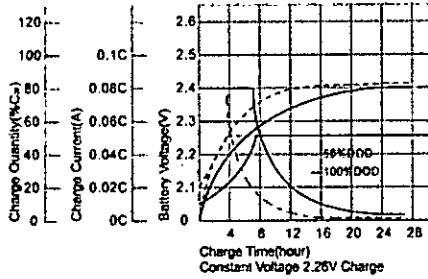
Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	206.78	160.00	121.47	102.49	63.95	48.47	34.24	28.70	23.05	19.89	10.81
1.75V/cell	229.83	174.46	130.40	109.04	67.57	51.07	35.48	29.72	23.73	20.23	11.02
1.70V/cell	244.97	185.20	137.51	114.80	71.30	52.99	36.50	30.62	24.41	20.68	11.14
1.65V/cell	252.09	190.40	141.36	118.42	72.77	54.46	37.06	31.07	24.75	20.90	11.24
1.60V/cell	270.17	201.92	150.73	125.08	75.37	56.38	38.19	31.75	25.08	21.36	11.41

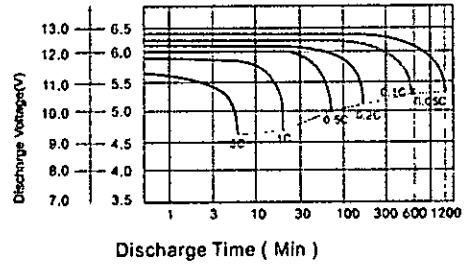


## 6-GFM(G)-100Ah Gel Battery Specification

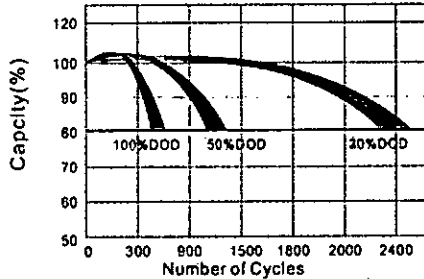
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



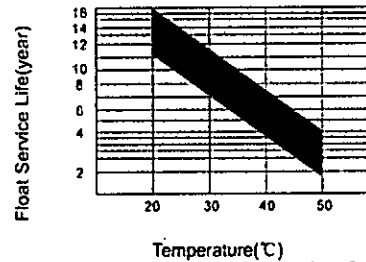
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



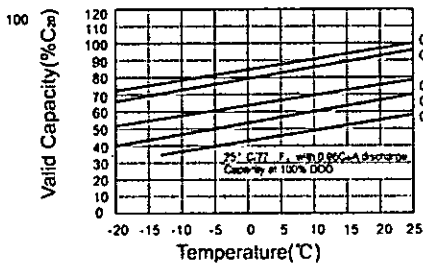
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



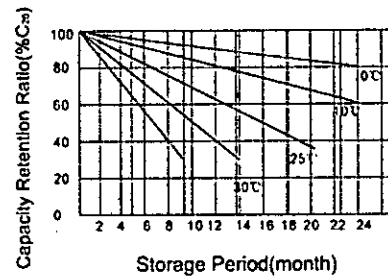
Float Service Life



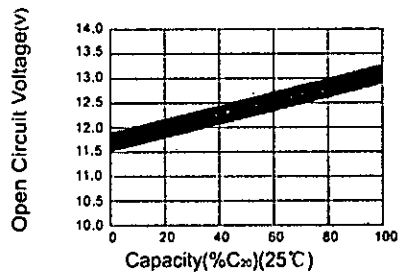
Temperature and Valid Capacity



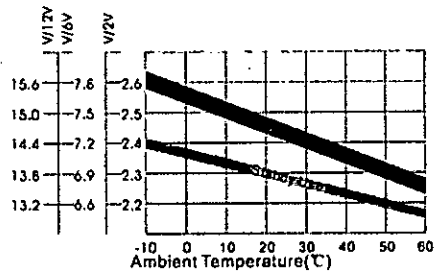
Self Discharge Characteristics



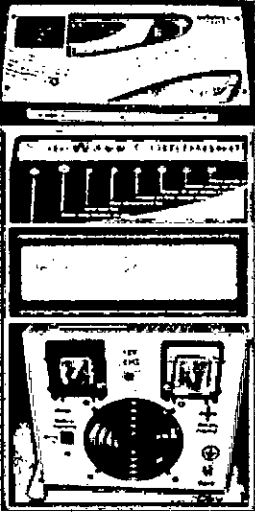
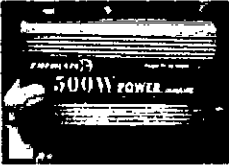
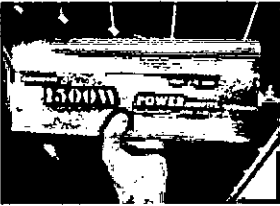
Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



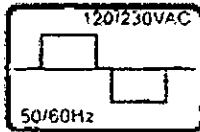
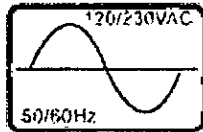
### Anexo N°10: Especificaciones técnicas de Inversores

Tipo Inversor	Origen	Voltaje / Potencia	Descripción	Foto	Precio (USD sin IGV)
Inversor 1000W	EUA	12VDC 1000W	<p>Más pequeño, más potente! Con alta eficiencia hasta 88%. Con potencia pico hasta 3 veces la potencia nominal.</p> <p>Onda senoidal pura de 220VAC / 60Hz.</p> <p>Transferencia automática inmediata (10ms) sin interrupción entre red y inversor.</p> <p>Modo "standby" con detección de carga.</p> <p>7 LEDs indicando el estado del convertor.</p> <p>Con pantalla digital para voltaje de batería, de red y potencia y frecuencia.</p> <p>Circuito de recarga de 7 niveles a través de la red para baterías seleccionable (Gel, AGM, Sellado, Flooded, etc.)</p>		\$450,- USD
Inversor 1000W		24VDC 1000W			\$450,- USD
Inversor 2000W		12VDC 2000W			\$750,- USD
Inversor 2000W		24VDC 2000W			\$750,- USD
Inversor 2000W		48VDC 2000W			\$750,- USD
Inversor 3000W		24VDC 3000W			\$950,- USD
Inversor 5000W		48VDC 5000W			\$1250,- USD
Inversor económico portátil pero igual de onda senoidal 500VA	EUA	12V 500VA 220VAC/60Hz	<p>Inversor económico para aplicaciones fijas de onda senoidal pura con todas las protecciones. Diseño con componentes de calidad para aguantar el trabajo rudo. Con salida de carga USB 5V. Desconexión con voltaje bajo.</p> <p>Potencia max: 1000W (2 seg)</p> <p>THD: &lt; 3%</p> <p>Eficiencia 90%</p> <p>Consumo propio: 0.8ª</p>		120,- USD
Inversor económico portátil pero igual de onda senoidal 1500VA	EUA	12V 1500VA 220VAC/60Hz	<p>Inversor económico para aplicaciones fijas de onda senoidal pura con todas las protecciones. Diseño con componentes de calidad para aguantar el trabajo rudo. Con Display para Voltaje y Potencia. Desconexión con voltaje bajo.</p> <p>Potencia máx.: 3000W (2 seg)</p> <p>THD: &lt; 3%</p> <p>Eficiencia 90%</p> <p>Consumo propio: 0.8Amp.</p>		310,- USD

Fuente: Pro Viento S.A.C.

# Power Star W7

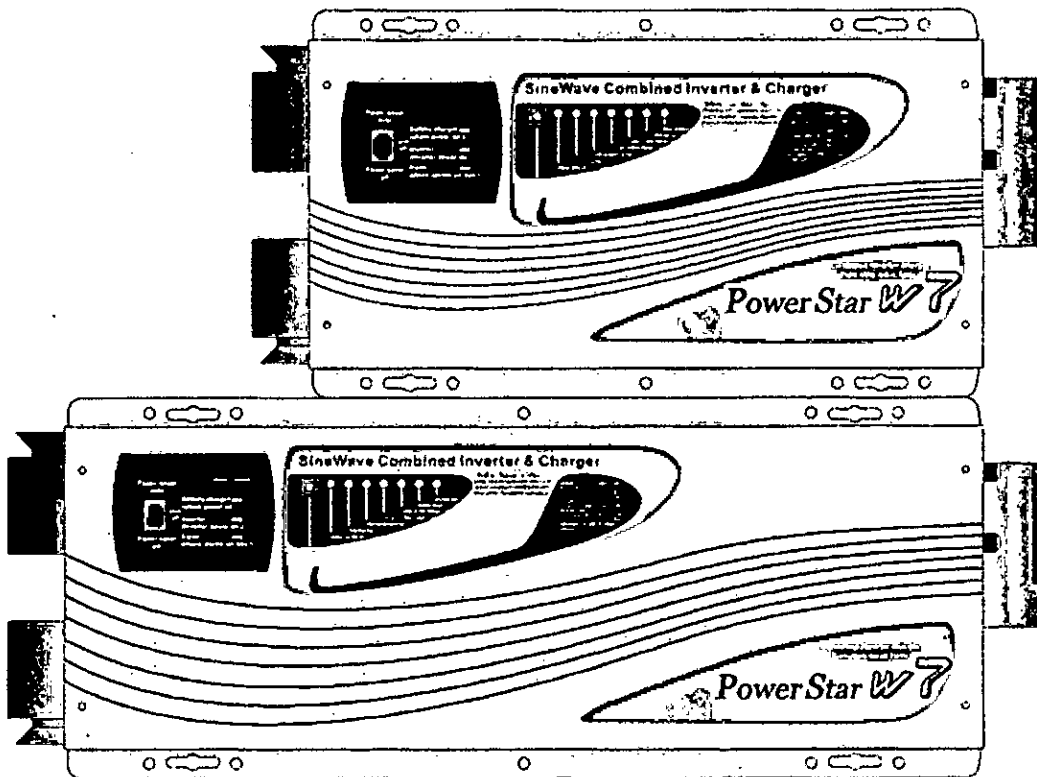
## Product Information Guide



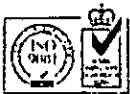
1000W - 4000W  
2000W - 5000W  
3000W - 6000W

Continuous power  
with P.F.C charger

### SineWave Combined Inverter & Charger



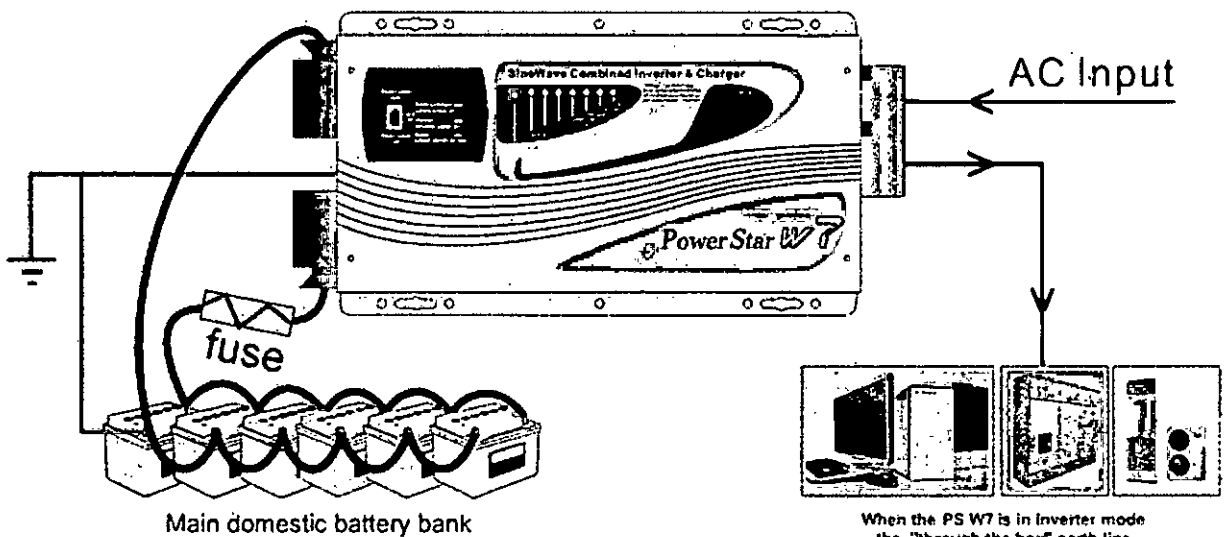
Models: 0612, 1012, 2012, 3012, 2024, 3024  
0612E, 1012E, 2012E, 3012E, 2024E, 3024E  
4024E, 5024E, 6024E, 4048E, 5048E, 6048E



# Combined inverter & charger

## Basic wiring for the Power Star W7 Series

Warning: High voltage, do not open unless qualified to do so;  
Please read instructions before working on this product.

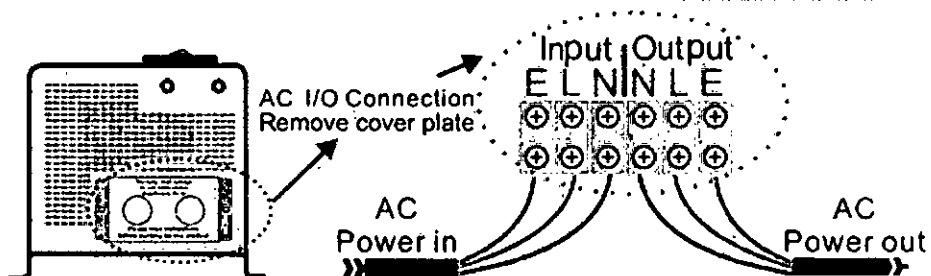
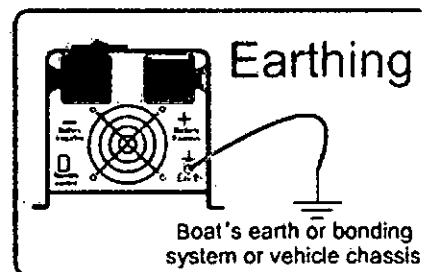


When the PS W7 is in Inverter mode the "through the box" earth line is automatically disconnected from the input earth and joined to the output neutral, complying with the natural earth inverter requirements if you wish to maintain a through earth simply connect the input earth to the output earth

### WHAT CABLE TO USE in mm<sup>2</sup> :

A charger or inverter	cable run distance 0 - 1.5m	cable run distance 1.5 - 4.0m
125-180 A	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
180-330 A	70 mm <sup>2</sup>	90 mm <sup>2</sup>

Please note that if there is a problem obtaining for example 90 mm<sup>2</sup> cable, use 2\* 50 mm<sup>2</sup>, or 3\* 35 mm<sup>2</sup>. One cable is always best but, cable is simply copper and all you require is the copper, so it does not matter if it is one cable or 10 cables as long as the square area adds up. Performance of any product can be improved by thicker cable and shorter runs, so if in doubt round up and keep the length as short as possible



#### Check list

- 1) Ensure that the inverter has the correct DC voltage for your boat or vehicle system, ie 12v or 24v/48v.
- 2) Fit as close to the batteries as possible, the shorter the DC cables the better. Voltage drop on long cables will effect the unit's performance.
- 3) Do not reverse the cables! Connect the red cable to the positive terminal and the black cable to the negative terminal of the battery. In the event of reverse polarity the unit could be totally destroyed.
- 4) Always use the inverter in an environment which is well ventilated, not exposed to direct sunlight or a heat source, away from water, moisture, oil or grease, away from any highly inflammable substance, out of reach from children.
- 5) The output voltage of this unit must never be on your AC system at the same time as any other AC source such as the 230V external mains line or a generator. All external power must go through the PS W7.
- 6) Always switch on the PS W7 first, before plugging in any appliance.
- 7) Under new electrical legislation only professional electricians should install this product.

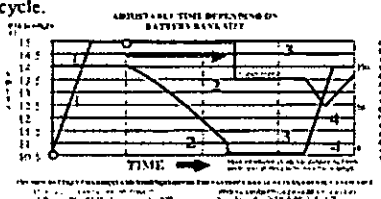
Ensure the fitting instructions are fully understood before fitting this product.

#### Installation

- 1) Position the unit as close to the main battery bank as possible
- 2) Position in a cool, dry & well ventilated space
- 3) Orientation of the unit is not critical.
- 4) Either purchase the standard cable set from Dealer which is about 1.5 metres, or if using your own cable, use the cable size chart provided on the installation drawing to ensure you have thick enough cable for the DC leads. In the event of not being able to get the size requested (it can be hard to get thick cable) then simply add multiple length of thinner cable, i.e. if you cannot get 90mm<sup>2</sup> cable then use 3 x 35mm<sup>2</sup> cable, at the end of the day its just copper we need.
- 5) Fit a fuse suitable for the job, again look at the installation drawing. We have a full range of high current fuses in the GANLR range of gold fuse products, ranging from 100-500 AmPs on the DC side
- 6) Connect the cables from the batteries to the fuse then to the unit, this way if there is a fault at the unit the fuse is already in place and this will be safe. In the event of a isolation switch being used, please ensure the rating of the switch can handle the power of the unit.
- 7) Ensure the unit is switched off during installation.
- 8) On the AC side ensure the shore power (all external AC sources) are totally disconnected, connect the output from the inverter to suitable Residual Current Breaker (R.C.D. for earth protection) and current over load trips. Fuse the AC input side depending on through power requirements, the max through power is 30 AmPs, so fuse at 40A (allowing also for charger consumption) if you intend to use the full through power for standard 13-16 amps throughput then a 20A fuse would be appropriate.
- 9) We recommend Multi core tri rated AC cable, if used on a boat or vehicle, as this is much safer where vibration is likely. Only use single solid household AC cable if the product is being used as a power source for a house or platform free of vibration.
- 10) Before attempting to switch on the unit, please ensure you have selected the correct battery type on the small battery type selector switch on the front of the main box, rotate the switch to your battery type. The Progressive charge control software will automatically adjust for battery bank size and state

#### Charge Stage Transition Definitions

- Boost CC Stage: If AC input is applied, the charger will run at full current in CC mode until the charge reaches the boost voltage.
- Software timer will measure the time from AC start until the battery charger reaches 0.3V below the boost voltage, then take this time as  $T_1$ , and  $T_2 \times 10 = T_1$ .
- Boost CV Stage: Start a  $T_1$  timer; the charger will keep the boost voltage in Boost CV mode until the  $T_1$  timer has run out. Then drop the voltage down to the float voltage. The timer has a minimum time of 1 hour and a maximum time of 12 hours.
- Float Stage: In float mode, the voltage will stay at the float voltage.
- If the AC is reconnected or the battery voltage drops below 12Vdc/24Vdc, the charger will reset the cycle above.
- If the charge maintains the float state for 10 days, the charger will reset the cycle.



The battery type and charge voltage recommendations are set out above For 24V unit x the above by 2. Some battery types may look confusing such as gel usa and gel euro, AGM usa and AGM euro. If you find this confusion then join the club, we have had the different voltage curves supplied to us by different companies from the U.S.A. and Europe for what we seem the same product, however it's not our call, we simply supply the options, if in doubt call your battery supplier and ask which charge voltage they want you to use for their battery type, and select the closest to it. If totally confused then use the lower voltage setting until you have had a higher voltage setting confirmed to you by whoever supplied the batteries to you.

The de-sulphation cycle on switch position 8 is marked in red because this is a very dangerous setting if you do not know what your are doing. Before even attempting to use this cycle you must clearly understand what it does and when and how you would use it.

What causes sulphation? This can be occur with infrequent use of the batteries, or if the batteries have been left discharged so low that they will not accept a charge. This cycle is a very high voltage charge cycle designed to try to break down the sulphate 'crust' that is preventing the plates taking a charge and thus allow the plates to clean up and so accept charge once again.

How to use this function. (only suitable for open lead acid batteries)

- 1) Ensure the battery bank is totally isolated from anything else on the boat or vehicle; the high voltage applied by this setting could destroy all your electronics and other electrical equipment still connected (hence all these instructions are in red, this is a very expensive mistake).

- 2) Make sure the battery compartment is very well ventilated and battery caps are removed.

- 3) Switch the battery type selector switch to the correct position, then switch the AC power on.

- 4) Because this is such a dangerous setting there is a 4 hr time out period build into the software. however on a very large battery bank this may not be enough and the unit may need to be switched off and on again to do another cycle.

What to expect on this cycle.

I would recommend you monitor the voltage of the sulphated battery bank. When you switch on the cycle the voltage should shoot up to the full 15.5 volts very fast (within minutes) this is because the batteries cannot accept the charge (assuming they are sulphated). However, over a period of 1-2 hrs the voltage should start to drop (as the plates start to clean and the batteries start to take a charge) the voltage could drop way down to about 12.5 volts then start to rise. This shows the batteries are now taking a charge and starting to fill up. In this case it would be safe to switch the unit off and select your normal charging curve and hopefully this will bring your batteries back from the dead. You may need to repeat the process a few times. Please note this is a professional guess tool, which most times helps, but its not magic, so expect the worst and hope for the best. Never leave a system unattended when on this mode. If the battery temperature reaches above 50 deg c (ie. if the batteries are almost too hot to touch) then stop the process).

Install remote control.

Isolate the unit before attempting this so there are no high voltages. The local control panel on the front of the unit can also be used as a remote control, reveal the screws holding the panel onto the main box, carefully remove the panel and disconnect it from the connection socket behind the unit.

Fill the hole on the main unit using the blank replica of the remote control unit.

Using the remote cable supplied then re-connect the panel to the unit Operation and what to expect

- 1) After the unit is installed, using the panel on the front of the unit, and with the shore power (120/230VAC) still disconnected, switch the unit on. The leds will cycle through there test routine, then the unit should go into inverter mode and 120/230V should be produced on the output AC terminals (provided the batteries are over 11 volts).

- 2) If the above is ok, then connect the shore power to feed 120/230V into the PS W7, after a short while, the inverter should go off line, and feed the shore power through the inverter. Changeover is about 20 milli secs (so fast that you should not be able to notice it) and the battery charger should come on-line and go through it's charge sequence ending, after 1-10 hrs, with float voltage.

Common faults:

There are numerous faults which the unit can detect and transmit the fault to you by the use of l.e.d.s and alarm on the unit itself. The remote control gives a little help but the real fault finding can only take place at the unit. Please see the fault finding chart over the page for full information.

**General specification**

Input Wave form:  
 Nominal voltage:  
 Low voltage re engage:  
 Low voltage re engage:  
 High voltage trip:  
 High voltage re engage:  
 Max Input AC voltage:  
 Nominal input frequency:  
 Low freq trip:  
 High freq trip:  
 Output wave form:  
 Overload protection:  
 Short circuit protection:  
 Transfer switch rating:  
 Efficiency on line transfer mode:  
 Line transfer time:  
 Bypass without battery connected:  
 Max bypass current:  
 Bypass over load current:  
 Inverter specification / output  
 Output wave form:  
 Output continuous power watts:  
 Output continuous power VA:  
 Power factor:  
 Nominal output voltage rms:  
 Output voltage regulation:  
 Output frequency:  
 Nominal efficiency:  
 Surgo ratings:  
 Short circuit protection:  
 Inverter specification / input  
 Nominal input voltage:  
 Minimum start voltage:  
 Low battery alarm:  
 Low battery trip:  
 High voltage alarm:  
 Power saver:  
 Power saver:

**Power star**

Sine wave (Utility or Generator)  
 120VAC 230VAC  
 90v ± 4% 184v/154v ± 4%  
 100v ± 4% 194v/164v ± 4%  
 140v ± 4% 253v ± 4%  
 135v ± 4% 243v ± 4%  
 150VAC 270VAC  
 50Hz or 60Hz (Auto detect)  
 47 Hz for 50 Hz, 57Hz for 60Hz  
 55 Hz for 50 Hz, 65 Hz for 60Hz  
 (Bypass mode) same as input  
 Circuit breaker  
 Circuit breaker  
 30 amp or 40 amp  
 95%+  
 10 ms Typical  
 Yes  
 30 amp or 40 amp  
 35 amp or 45 amp: Alarm  
 Pure sine wave or quasi sine wave  
 1000 2000 3000 4000 5000 6000  
 1000 2000 3000 4000 5000 6000  
 0.9-1.0  
 120/230VAC  
 +/- 10% rms  
 50Hz ± 0.3Hz or 60Hz ± 0.3Hz  
 >88%  
 3000 6000 9000 12000 15000 18000  
 Yes, fault after 10 secs  
 12v 24v 48v  
 10v 20v 40v  
 10.5v 21v 42v  
 10v 20v 40v  
 16v 32v 64v  
 Below 25 watts when enabled  
 Same switched on/off on remote

**Charger mode specification**

Input voltage range: 95-127VAC 194-243VAC/164-243VAC(W)  
 Output voltage: Dependent on battery type  
 Charge current: 35A / 70A  
 Battery initial voltage for start up: 0-15.7v for 12v(\*2 for 24v; \*4 for 48v)  
 Over charge protection shutdown: 15.7v for 12v(\*2 for 24v; \*4 for 48v)  
 Charger curves (4 stage constant current) / battery types  
 4 step digital controlled progressive charge  
 Battery type: Fast V Float V(\*2 for 24v; \*4 for 48v)  
 Gel U.S.A 14.0 13.7  
 A.G.M. 1 14.1 13.4  
 A.G.M. 2 14.6 13.7  
 Sealed lead acid 14.4 13.6  
 Gel euro 14.4 13.8  
 Open lead acid 14.8 13.3  
 Calcium 15.1 13.6  
 De-sulphation 15.5 for 4 hrs  
 Remote control / RS232 / USB Yes, Optional  
 Size: in mm 1000/2000/3000 Model:442\*218\*179mm  
 4000/5000/6000 Model:598\*218\*179mm  
 18kg 20kg 22kg 35kg 38kg 40kg

Weight:

**Indication & fault finding chart**

Status	Function	L.E.D.s on main unit			L.E.D.s on remote		
		●	●	●	●	●	●
Charge Function	Constant current charge	on	on	on	on	on	on
	Constant voltage charge	Flash	on	on	on	on	on
	Float	on	on	on	on	on	on
Inverter mode	Standby	on	on	on	on	on	on
	Inverter on	on	on	on	on	on	on
Alarms	Power saver on	on	on	on	on	on	on
	Battery low voltage	on	on	on	on	on	on
	Battery high voltage	on	on	on	on	on	on
	Over load (inverter mode)	on	on	on	on	on	on
	Over temp (inverter mode)	on	on	on	on	on	on
Fault Mode	Over temp (line mode)	on	on	on	on	on	on
	Over charge	on	on	on	on	on	on
	Fan lock	on	on	on	on	on	on
Inverter mode	Battery high voltage	on	on	on	on	on	on
	Inverter mode overload	on	on	on	on	on	on
	Over temperature	on	on	on	on	on	on
Back voltage	Back voltage	Flash	Flash	Flash	Flash	Flash	Flash

**Ordering Information**

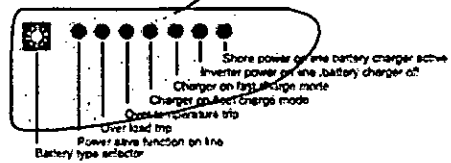
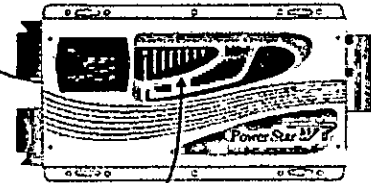
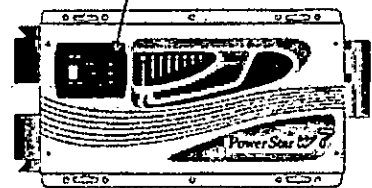
Typical part number: PSW 0 0 00 12 0 00  
 1. Basic Series  
 PSW = Combined Inverter & Charger  
 2. Waveform  
 S = Pure Sinewaves O = Quasi Sinewaves  
 3. Power Rating  
 10 = 1000W 20 = 2000W 30 = 3000W  
 40 = 4000W 50 = 5000W 60 = 6000W  
 4. Battery Voltage  
 12 = 12VDC 24 = 24VDC 48 = 48VDC  
 5. AC Voltage  
 E = 230VAC 100 = 120VAC  
 6. Suffix  
 00 = Standard model 01 = Customer model

**AC Input current specification**

Input C	SW Status
1A	SW1 ON
2A	SW1+SW2 ON
3A	SW1+SW2+SW3 ON

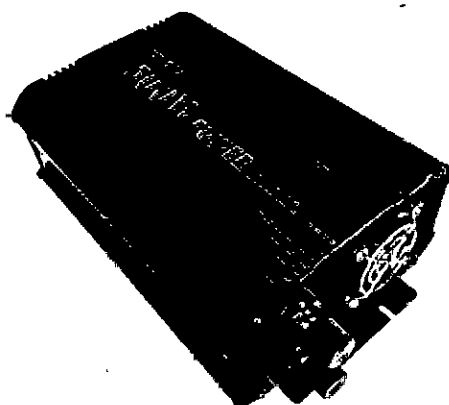
**Remote control installation**

Remove 4 screws holding the panel and disconnect the cable behind it.





# ZONHAN TW500 PURE SINEWAVE INVERTER



## INPUT/OUTPUT INTRODUCTION

### Signal indicator

Green light: normal operation  
Red light: failure indication

### USB output

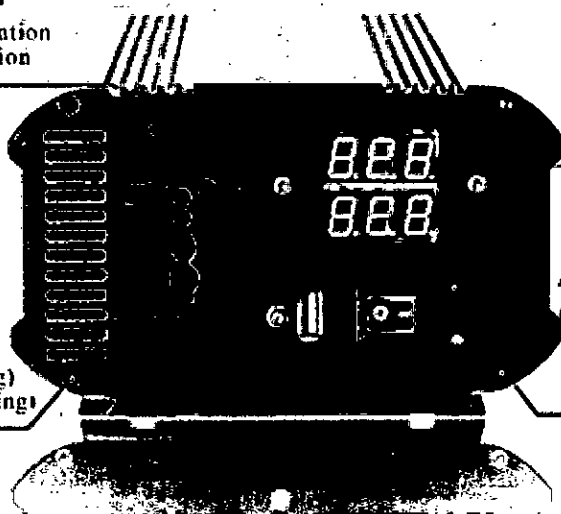
Direct current output  
mode 1A/5V

### Power switch

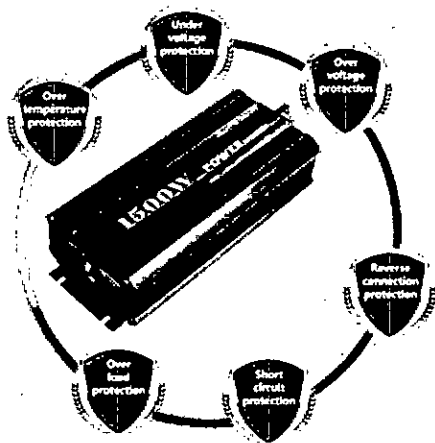
I: ON turn on (start working)  
O: OFF turn off (stop working)

### Alternating current output

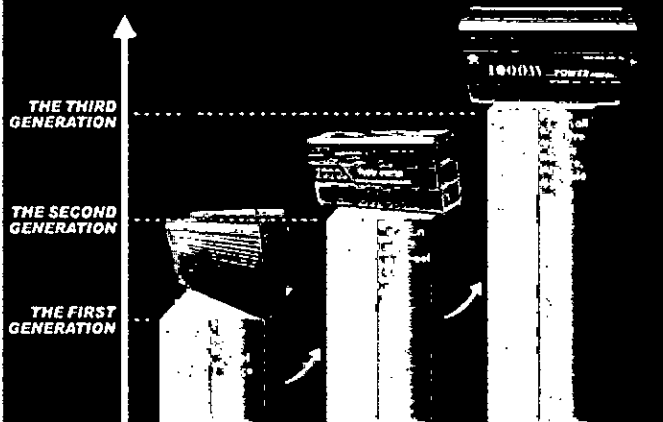
The socket model is chose by users: 12V/24V/48V switch into 110V/220V ( $\pm 10\%$ )



## SIX PROTECTION FUNCTIONS

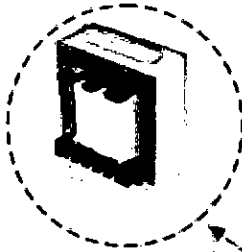
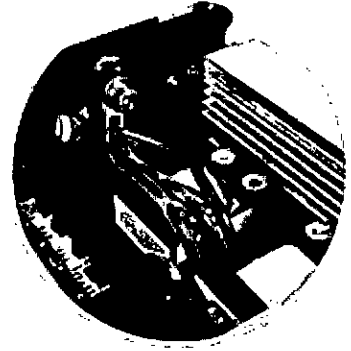
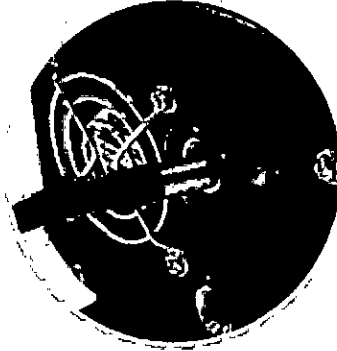
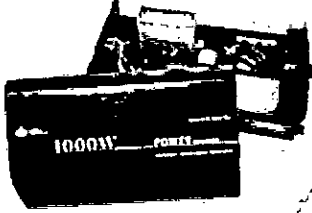


## OLD AND NEW PERFORMANCE CONTRAST



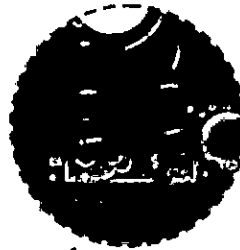
## INTERNAL DISPLAY AND THE CORE TECHNOLOGY

Quality depends on the details  
Professional research and development over 31 years



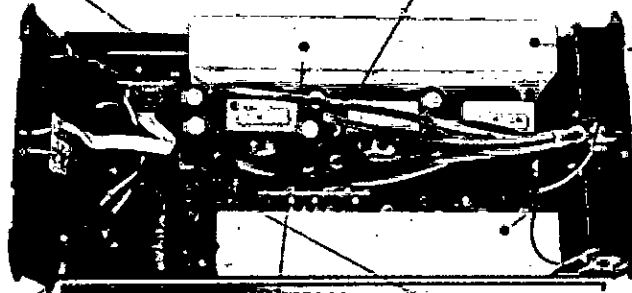
**With pure copper and the high density of the copper strip voltage transformer**

100% pure copper full power high frequency density coil transformer output more stability more safety



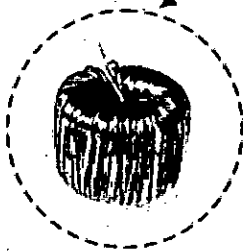
**insurance with chip inserted**

Load large current, loading safety



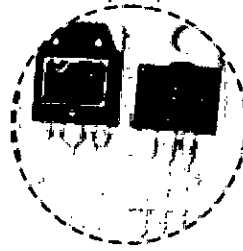
**cooling fin**

Larger full aluminium material cooling fin Heat faster and more efficient



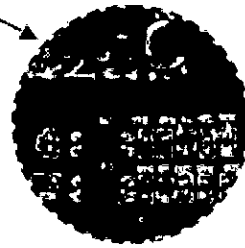
**All copper ring**

Used to suppress common mode noise, prevent interference signals generated by inverter affects the use of electrical appliances.



**Power tube**

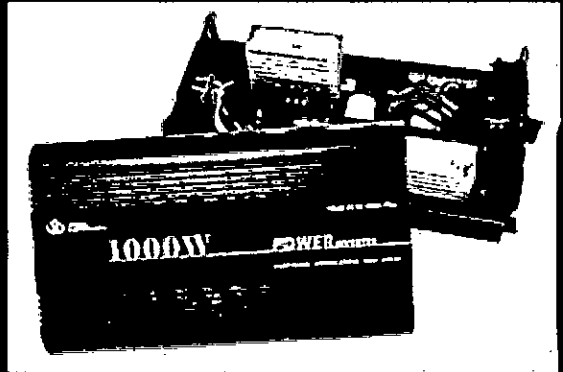
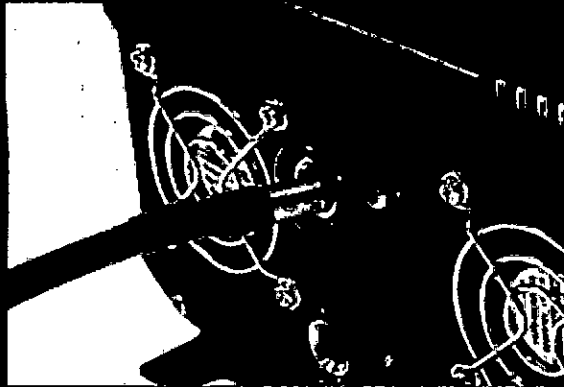
Import FAIRCHILD IGBT-IR CPU; Performance is more stable, more efficient Built in cooling silicone, high temperature is not a problem



**Circuit board**

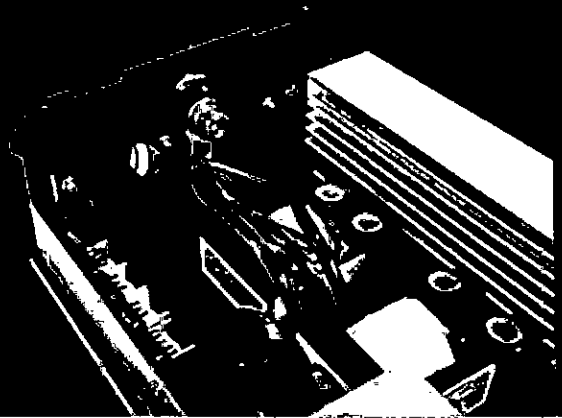
Use jiantao plate with the SMT patch technology Combined with industrial production conditions, to ensure that the finished product zero error With multiple shockproof function and anti-throw protection function.

**INTERNAL DISPLAY AND COMPARISON**



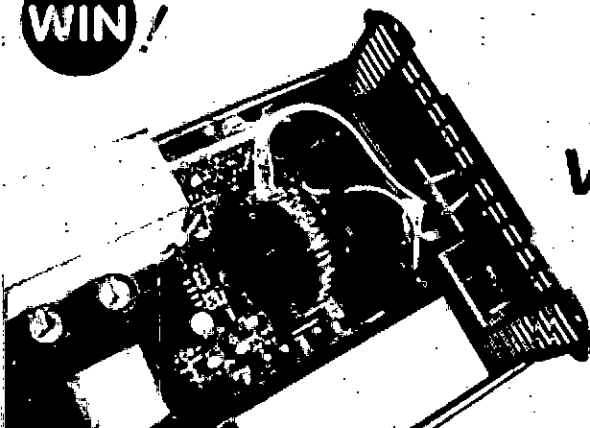
**Details highlight quality**

**Professional research and development over 31 years**



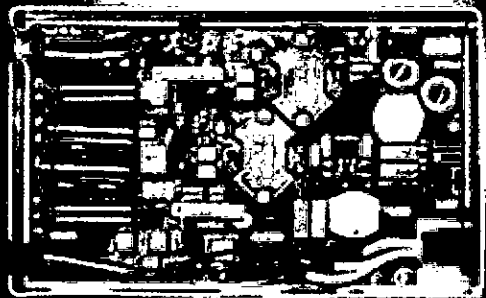
**THE SAFEST DESIGN—THE BUILT-IN FINE COPPER TRANSFORMER**

**WIN!**



**VS**

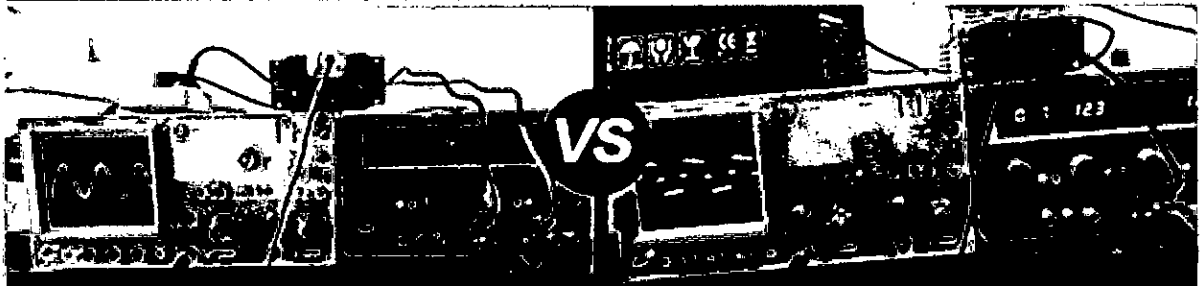
**FAIL**



**transformer:** built-in two fine copper isolation  
To protect the safety of power source is to protect the safety of life.

The transformer with any fine copper can't avoid breakdown—electrical appliances burning.

















**IF YOU COMPARE OUR PRODUCTS' FUNCTION WITH OTHERS, YOU WILL KNOW WHO ARE BETTER**

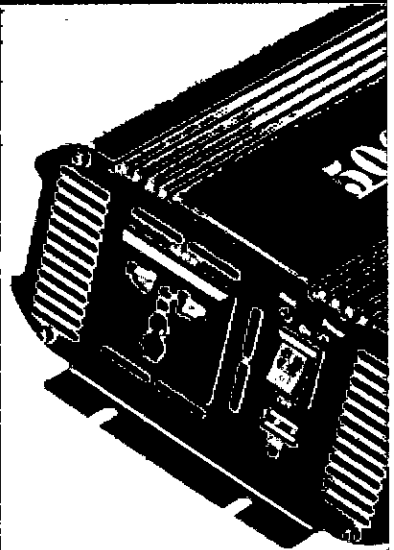


Pure sine wave inverter can run any common devices which are connected to city power, with stable output voltage and frequency conversion start-up function.

Capacitive loads (such as LED flashlight with charging) have impact current at edge of a pulse, causing that it will be damaged by modified/pure sine wave providing power and inductive loads work abnormally.

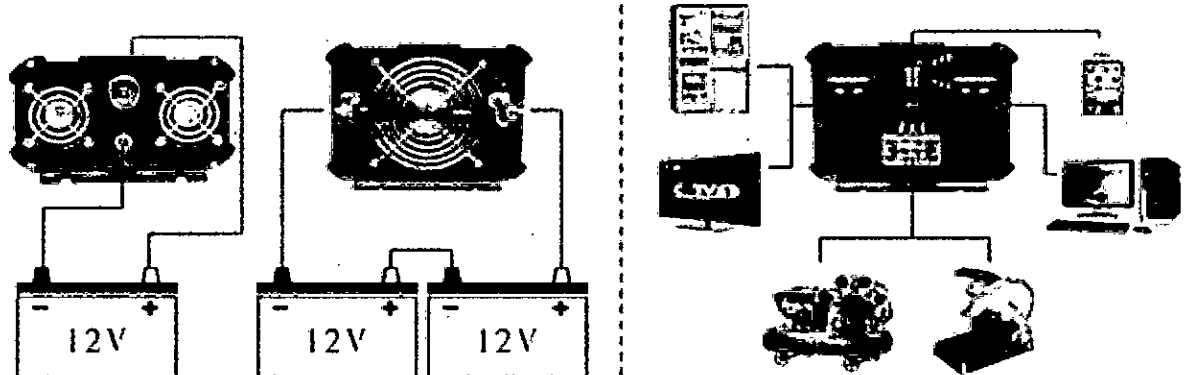
**SOCKET AND PLUGS TYPE**

 Australian	 Brazil	 South Africa	 German-European
 French	 Spiral American-French	 American-French SS-6E	 American-French SS-6F
 American SS-6B	 American XD-106-C	 American-French WD-6D1	 Universal
 Universal RQB	 Italian	 British	 Round Australian



*You can choose all kinds of sockets and plugs with no worry.*

**WIRING DIAGRAM.**



<b>Model : TW-500</b>		<b>TW-500-12V</b>	<b>TW-500-24V</b>	<b>TW-500-48V</b>
AC Output	Continuous power:	500W		
		1000W		
	Surge power:	120%<load<load</load		
		150%<load<load</load		
	Output Waveform	Pure Sine Wave (THD < 3%)		
	Output Frequency	50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Optional)		
	AC Output Voltage	100~120VAC / 200~240VAC (Optional)		
DC Input	DC Input Voltage	12V DC	24V DC	48V DC
	Voltage Range	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	Low Voltage Alarm	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Low Voltage Shut down.	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Over Voltage Shut down	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
	Converting Max. Efficiency	90% (Full Loading) / 95% (1/3 Loading)		
	No Load Consumption	<0.4A	<0.2A	<0.1A
	Over Thermal:	Shut Off Output Automatically, Temperature >75°C		
Protection	Short circuit protection:	Reverse Polarity (External Fuse)		
	Cooling Fan automatically run	Temperature ≥45°C		
	Working temperature	-10°C~+50°C		
Environment	Working humidity	20%~90% RH Non-Condensing		
	Storage Temperature Range	-30°C~+70°C		
	LED Indicator Light	Inverter, Fault		
Packing	Inner Box Dimensions (mm)	315*195*135mm		
	Inner Box Weight (kg)	2.5kg		
	Carton Dimensions (mm)	420*340*460 mm		6 pcs /Carton
	Carton Weight (kg)	15 kg		

## PRODUCT EXPOSURE

### Pure sine wave inverter

Start the revolution of the inverter

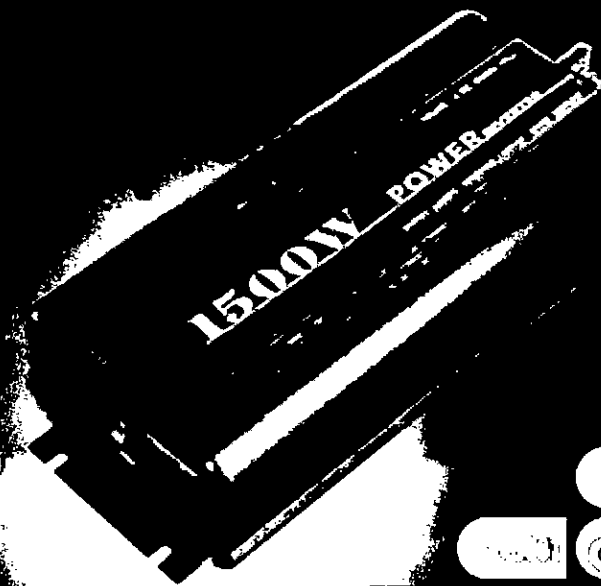
100% full power

No waveform distortion

High conversion efficiency Strong anti-interference performance

Simple operation strong frequency and voltage stabilization functions

Automatic protection function more than 10 years of Service life



## THE CHOICE/MODEL/MEANING OF THE INVERTER

?

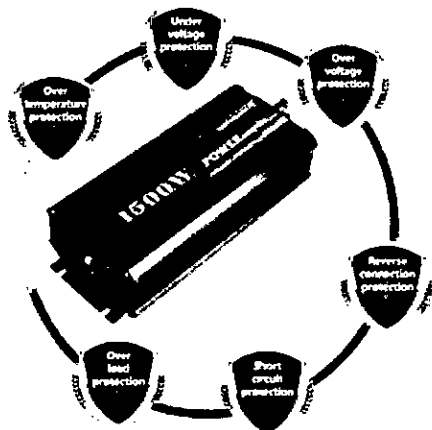
Inverter is a device which converts 12v/24v/48v DC power (battery, accumulator jar) into 220v 50Hz/60Hz AC power (pure sine wave, square wave) and it is widely used in office, communications, leisure and entertainment.

?

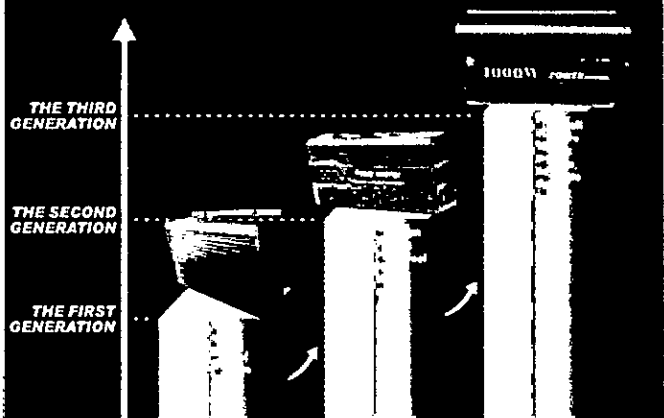
Inverters can be classified by waves: one is pure sine wave inverter and another one is modified square (our company called modified sine) wave inverter. Pure sine wave inverter can provide high quality AC power and run any loads (like inductive appliance and resistive appliance) with no electromagnetic interference but high cost. Modified sine wave inverter can meet most of our electricity demand. It is high efficiency, low noise and cheap price, but it only runs resistive appliance.

Inverter can be classified by usage as following: solar inverter, inverter with charger, household inverter, car inverter etc.

### PROTECTION FUNCTIONS



### OLD AND NEW PERFORMANCE CONTRAST



## INPUT/OUTPUT INTRODUCTION

### Signal indicator

Green light: normal operation  
Red light: failure indication

### Power switch

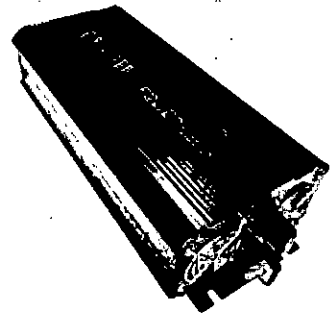
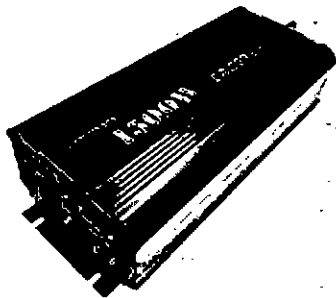
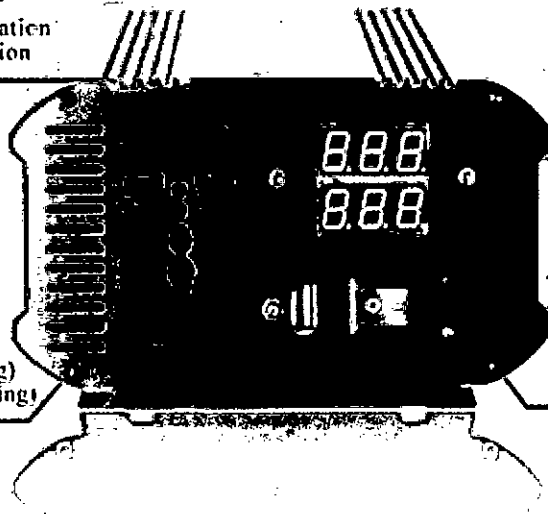
I: ON turn on (start working)  
O: OFF turn off (stop working)

### USB output

Direct current output  
mode 1A/5V

### Alternating current output

The socket model is chose by users: 12V/24V/48V switch into 110V/220V ( $\pm 10\%$ )



### Positive terminal

Connect with the battery's positive pole.

### Intelligent fans

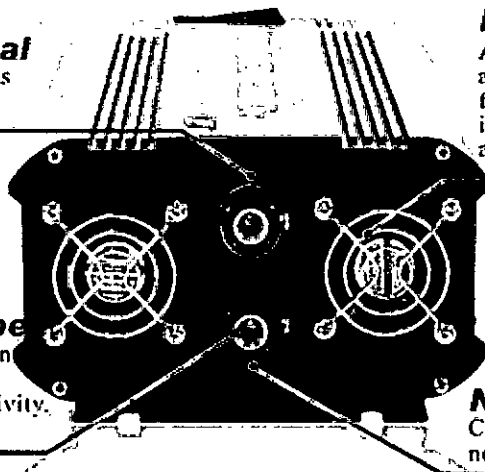
According to product temperature and loads operation condition, the fans will open and shut up intelligently with energy saving and high efficiency.

### 100% fine copper

Copper plus silver content  
99.5 to 99.95%  
Good electrical conductivity,  
high efficiency

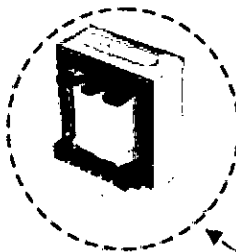
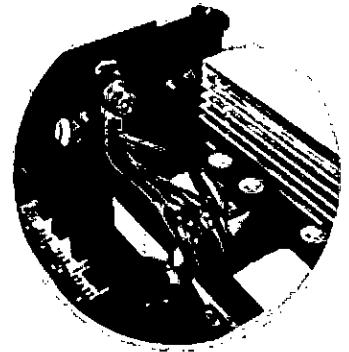
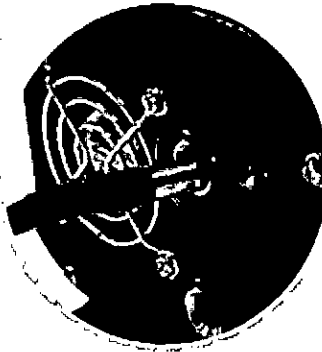
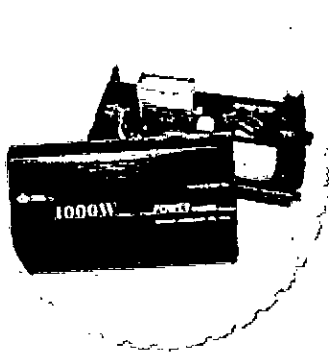
### Negative terminal

Connect with the battery's negative pole.



## INTERNAL DISPLAY AND THE CORE TECHNOLOGY

Quality depends on the details  
Professional research and development over 31 years



**With pure copper and the high density of the copper strip voltage transformer**

100% pure copper full power high frequency density coil transformer, output more stability, more safety



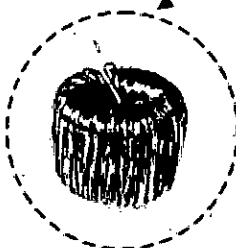
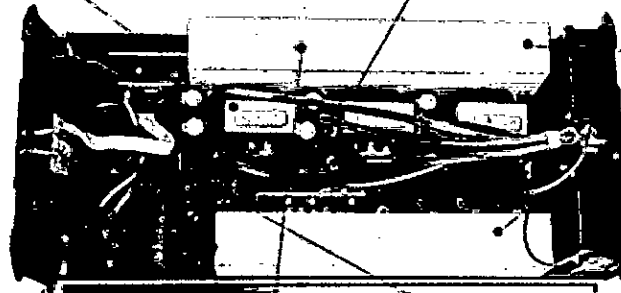
**insurance with chip inserted**

Load large current, loading safety



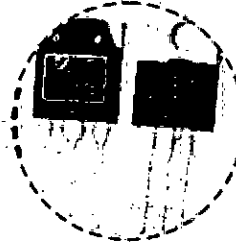
**cooling fin**

Larger full aluminium material cooling fin  
Heat faster and more efficient



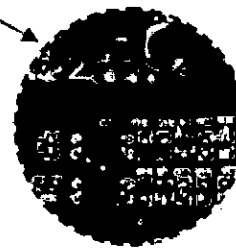
**All copper ring**

Used to suppress common mode noise, prevent interference signals generated by inverter affects the use of electrical appliances.



**Power tube**

Import FAIRCHILD IGBT - IR CPU; Performance is more stable, more efficient. Built in cooling silicone, high temperature is not a problem

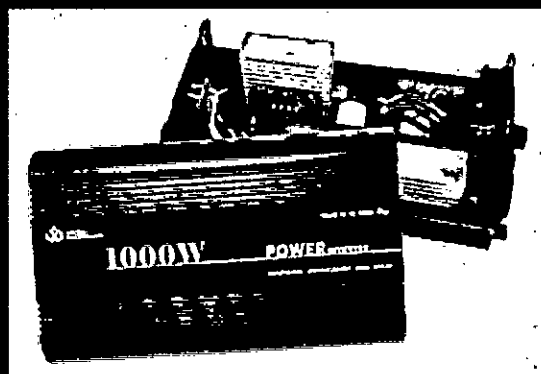
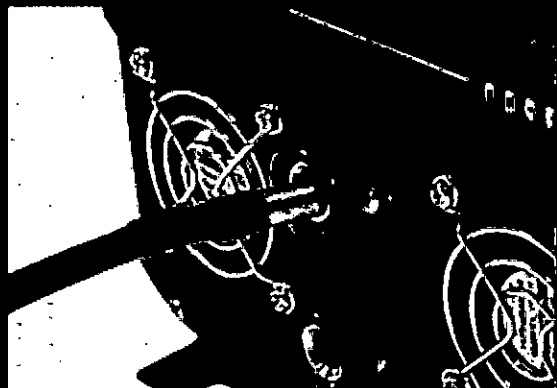


**Circuit board**

Use jiantao plate with the SMT patch technology. Combined with industrial production conditions, to ensure that the finished product zero error. With multiple shock proof function and anti-throw protection function.

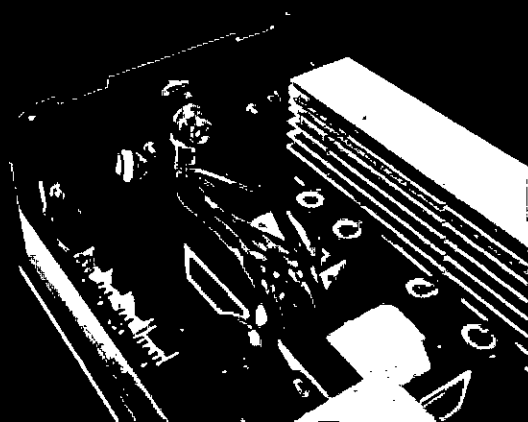


## INTERNAL DISPLAY AND COMPARISON



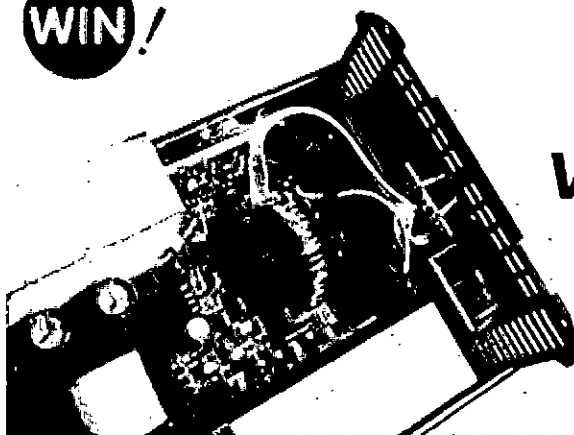
Details highlight quality

Professional research and development over 31 years



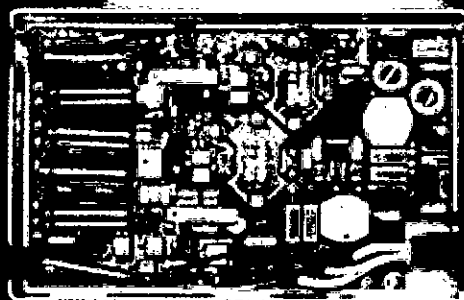
## THE SAFEST DESIGN—THE BUILT-IN FINE COPPER TRANSFORMER

**WIN!**



**VS**

**FAIL**









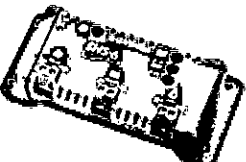


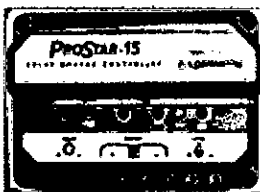


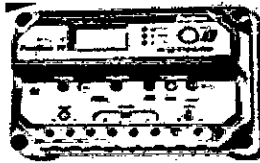



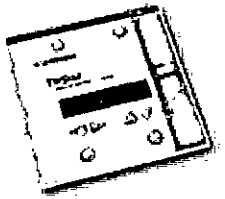

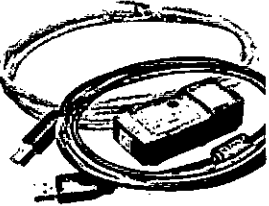


built-in two fine copper isolation  
transformers  
To protect the safety of power source is to protect the  
safety of life.

The transformer with any fine copper can't avoid  
breakdown—electrical appliances burning.

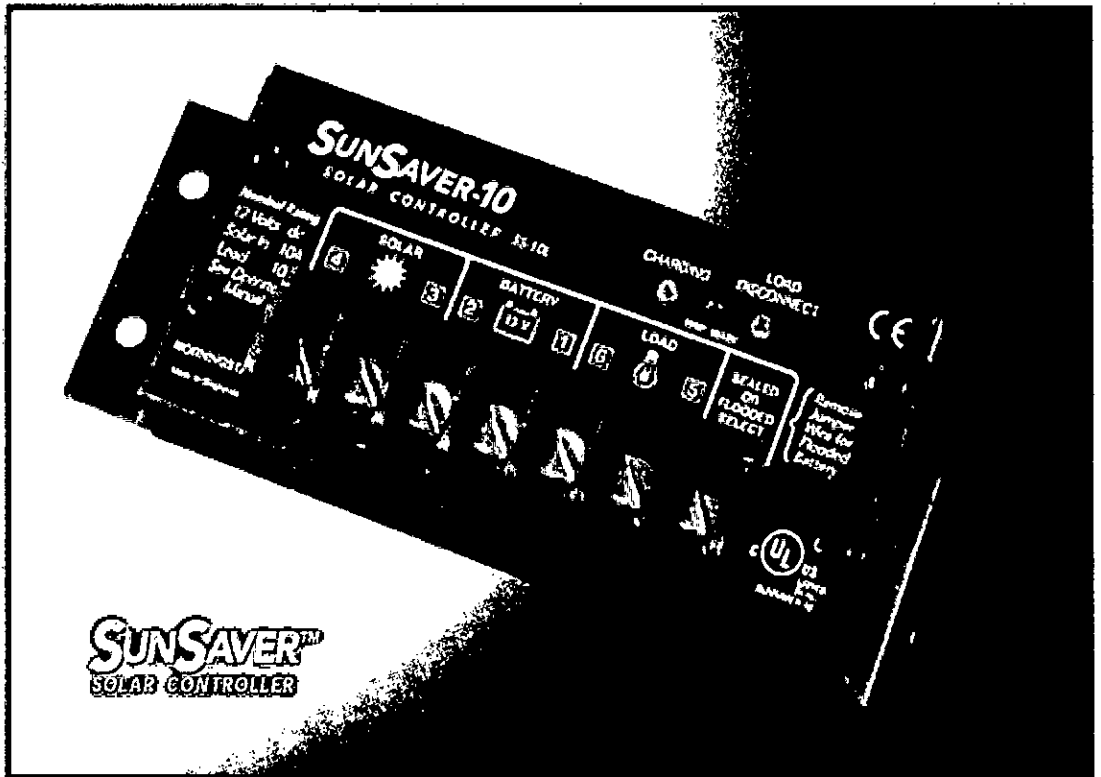
<b>Model : TW-1500</b>		<b>TW-1500-12V</b>	<b>TW-1500-24V</b>	<b>TW-1500-48V</b>
<b>AC Output</b>	Continuous power:	1500W		
		3000W		
	Surge power:	120%<load<load</load		
		150%<load<load</load		
	Output Waveform	Pure Sine Wave (THD < 3%)		
	Output Frequency	50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Optional)		
	AC Output Voltage	100~120VAC / 200~240VAC (Optional)		
<b>DC Input</b>	DC Input Voltage	12V DC	24V DC	48V DC
	Voltage Range	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	Low Voltage Alarm	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Low Voltage Shut down	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Over Voltage Shut down	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
	Converting Max. Efficiency	90% (Full Loading) / 95% (1/3 Loading)		
No Load Consumption	<0.8A	<0.4A	<0.2A	
	Over Thermal:	Shut Off Output Automatically, Temperature >75°C		
<b>Protection</b>	Short circuit protection:	Reverse Polarity (External Fuse)		
	Cooling Fan automatically run	Temperature ≥45°C		
	Working temperature	-10°C~+50°C		
<b>Environment</b>	Working humidity	20%~90% RH Non-Condensing		
	Storage Temperature Range	-30°C~+70°C		
	LED Indicator Light	Inverter, Fault		
<b>Packing</b>	Inner Box Dimensions (mm)	315*195*135mm		
	Inner Box Weight (kg)	2.6 kg		
	Carton Dimensions (mm)	420*340*460 mm		6pcs /Carton
	Carton Weight (kg)	16 kg		

### Anexo N°11: Especificaciones técnicas de controladores de carga

Sensor	Origen	Potencia	Descripción	Foto	Precio (USD sin IGV)
 <b>Controlador Morningstar SunSaver SS</b>		12 V 6A, 10A, 20A	El mundialmente reconocido controlador de carga de alta confianza. Con todos las protecciones y con LVD (Low Voltage Disconnect). Completamente en estado sólido para ambientes trópicos. Seleccionable para baterías selladas y de plomo ácido líquido.		6A: \$65,- USD 10A: \$80,- USD 20A: \$110,- USD
 <b>Controlador Morningstar SunSaver SS</b>		24 V 20A	El mundialmente reconocido controlador de carga de alta confianza ahora en su tercera generación. El nuevo diseño viene con tres LEDs para indicar el estado de batería y una LED para la recarga. Con todas las protecciones y con LVD (Low Voltage Disconnect). Completamente en estado sólido para ambientes trópicos. Seleccionable para baterías selladas y de plomo ácido líquido.		20A: \$120,- USD
 <b>Controlador Morningstar Solar Home SHS</b>		12 V 6A, 10A	El pequeño hermano de SunSaver que solo se vende para América Latina. El SHS es un controlador de carga muy económico, bueno y muy sencillo. Con LVD y demás protecciones. El equipo tiene la aprobación del banco Mundial para SFVs Completamente en estado sólido para ambientes trópicos.		el SHS 6A: \$40,- USD el SHS 10A: \$50,- USD
 <b>Controlador Morningstar ProStar PS</b>		12 / 24V 15A  y 30A	Un controlador de carga sofisticado. Con tres indicadores del estado de batería y sensor de temperatura. Con LVD desconexión automática de la carga cuando la batería está agotada.  En paralelo hasta 300Amp. Completamente en estado sólido para ambientes trópicos. Seleccionable para baterías selladas, Gel y de plomo ácido líquido.		el PS-15A: \$130,- USD el PS-30A: \$180,- USD
 <b>Controlador Morningstar ProStar PS-M con pantalla</b>		12 / 24V 15A  y 30A	Un controlador de carga sofisticado. Con tres indicadores del estado de batería y sensor de temperatura. Con LVD desconexión automática de la carga cuando la batería está agotada. La versión M viene con una pantalla pequeña que indica el Voltaje, Corriente etc. En paralelo hasta 300Amp.		15A: \$210,-USD 30A: \$310,-USD

<p><b>MORNINGSTAR</b> CORPORATION</p> <p><b>Pantalla TS-M2</b></p> <p>para <b>TriStar</b></p>		<p>n/a</p>	<p>El medidor mostrará una gran cantidad de información sobre el TriStar controlador y el funcionamiento de su sistema. Además, el medidor manual permite funciones de control y diagnóstico. Estas capacidades aumentarán su confianza en que el sistema está trabajando correctamente y le ayudará a mejorar la fiabilidad del sistema, batería la vida, y el rendimiento del sistema. Vale la pena el tiempo de conocer a su medidor!</p>		<p><b>\$170,- USD</b></p>
<p><b>MORNINGSTAR</b> CORPORATION</p> <p><b>Adaptador USB &lt;&gt; Meterbus</b></p> <p>para conectar los controladores TS, TS-MPPT, PS-MPPT, SS-MPPT y Suresine a un PC via USB</p>		<p>n/a</p>	<p>UCon este adaptador ahora es fácil de conectar los controladores y inversores de MORNINGSTAR que tienen METERBUS a un PC y programar y controlar vía MSVIEW que es libremente descargable desde la página web de MORNINGSTAR</p>		<p><b>\$70,- USD</b></p>
<p><b>MORNINGSTAR</b> CORPORATION</p> <p><b>Sensor de temperatura externo para TriStar</b></p>		<p>n/a</p>	<p>Este sensor permite medir precisamente la temperatura de las baterías aunque estén distantes al controlador. Una correcta medición de temperatura de las baterías es muy importante para cargarlas correctamente.</p>		<p><b>\$40,- USD</b></p>

Fuente: Pro Viento S.A.C.



Morningstar's SunSaver is the world's leading small solar controller for both professional and consumer applications.

**SunSaver's technology provides:**

- Exceptional Reliability
- PWM Battery Charging
- Consistent High Quality

The SunSaver's advanced design delivers outstanding performance and value. The SunSaver's low cost is made possible by Morningstar's unique approach to design and manufacturing:

- Automated production
- ISO 9002 quality programs
- Latest power electronic technologies
- Latest control and logic technologies
- High volume manufacturing

**Features:**

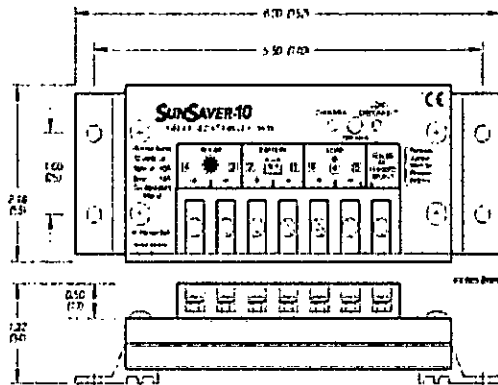
- Eight versions available (see back)
  - 12 and 24 volts
  - 6, 10 and 20 amps
- 100% solid state
- Series design (not shunt)
- True 0 to 100% PWM duty cycle
- Setpoint accuracy to 35 mV
- Rated for 25% overloads
- Fully encapsulated in epoxy potting
- Marine rated terminals / anodized case
- Temperature compensation
- Sealed / Flooded battery select
- No need to derate
- Parallel for 40 amps or more
- Green charging / Red LVD indicators

# SUNSAVER™

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### SunSaver Model Selection Chart

MODEL NUMBER	SOLAR RATING (Amps)			LOAD RATING (Amps)			LVD	12V	24V
	0	10	20	0	10	20			
• SS-6	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-6L	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-10	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-10L	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-10-24V	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-10L-24V	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-20L	█	█	█	█	█	█	█	█	█
• SS-20L-24V	█	█	█	█	█	█	█	█	█

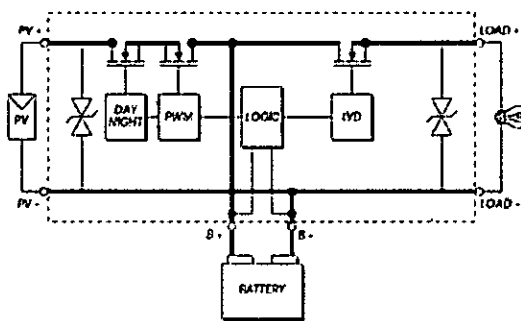


### Mechanical Specifications

- Wire size #10 AWG (5.2 mm<sup>2</sup>)
- Anodized aluminum case
- Marine rated terminals
- Epoxy encapsulated
- Weight is 8 oz (0.23 kg)

### Electrical Specifications

	12 Volt	24 Volt
Rated Solar Input	6.5/10/20 A	
Rated Load	6/10/20 A	
25% Current Overload	5 min.	5 min.
Regulation Voltage:		
Sealed Battery	14.1 V	28.2 V
Flooded Battery	14.4 V	28.8 V
Load Disconnect	11.5 V	23.0 V
LVD Reconnect	12.6 V	25.2 V
Temp. Comp. (mV/C)	-28	-56
Self-consumption	6 to 10 mA	
Operating Temp.	-40 to +85°C	



**WARRANTY:** Five year warranty period. Contact Morningstar or your authorized distributor for complete terms.

**AUTHORIZED MORNINGSTAR DISTRIBUTOR:**

Available From



38150 River Frontage Rd.  
New Castle CO.  
970-984-3750  
solarpanelstore.com



1098 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 18977 USA  
Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com



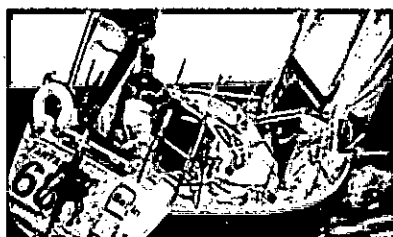
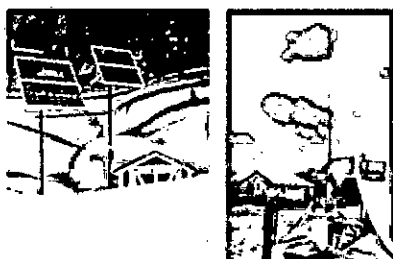
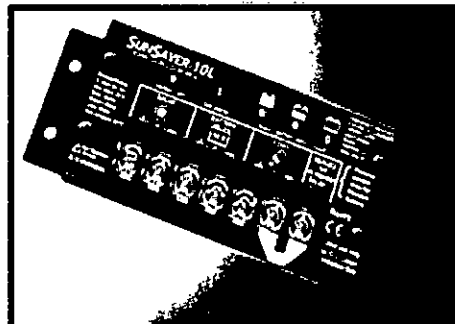


## SUNSAVER™

### CONTROLADOR SOLAR

Morningstar se complace en presentar el SunSaver de tercera generación. Desde su primera presentación en el mercado en 1996, se han instalado más de 1 millón de controladores SunSaver en más de 73 países para numerosos sistemas de energía solar, entre estos, petróleo/gas, telecomunicaciones e instrumentación, marina y navegación y hogares remotos. Hemos conservado mucho de nuestro diseño existente, por ejemplo, las mismas clasificaciones, el espacio y la interfaz de usuario simple y, además, hemos agregado diversas funciones de alto valor nuevas y avanzadas:

- Protecciones electrónicas completas
- Carga de batería de 4 etapas
- Autodiagnóstico para detectar fallas críticas
- LED de estado multicolor
- 3 LED para el estado de carga de la batería
- Recuperación de batería descargada
- Modo de telecomunicaciones para cargas sensibles
- Límite de carga máxima para cargas sensibles
- Cubierta para proteger los terminales de cables
- Certificaciones adicionales



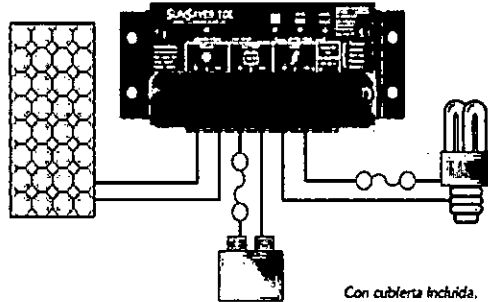
#### Características clave y beneficios

- **Fiabilidad sumamente alta**
  - Índice de falla menor que 1 por cada 1.000 enviados (<0,1 %)
  - Estado 100 % sólido. Diseño de MOSFET de energía
  - Fabricado en una fábrica que cumple con ISO 9000
  - Prueba de 100 % de funcionalidad anterior al envío
- **Baterías con vida útil más larga**
  - Carga PWN avanzada
  - Diseño de serie (sin derivador de corriente) para un funcionamiento frío
  - Carga de 4 etapas: principal, absorción, flotación, compensación
  - Puntos de ajuste optimizados para batería sellada o con electrolito líquido
  - Carga con compensación de temperatura
  - Desconexión de carga de bajo voltaje en diversas versiones
- **Diseñado para ambientes rigurosos**
  - Clasificación de temperatura de -40 °C a +60 °C
  - Encapsulación de epoxia para protección contra el ingreso de humedad y polvo
  - Protección contra la corrosión: terminales de clasificación marina y carcasa de aluminio anodizada
  - Certificado para su uso en ubicaciones peligrosas
- **Fácil de instalar y de usar**
  - Gracias a los ajustes previos de fábrica, no se requieren configuraciones de instalación
  - Las protecciones electrónicas evitan daños debido a errores de cableado
  - Funcionamiento y recuperación de fallas completamente automáticos
  - Los LED muestran información extensa acerca del estado, fallas, y condición de la batería

# SUNSAVER™ CONTROLADOR SOLAR

## Versiones de SunSaver

	Corriente solar	Corriente de carga	Voltaje del sistema	LVD
• SS-6-12 V	6 A	6 A	12 V	No
• SS-6L-12 V	6 A	6 A	12 V	Si
• SS-10-12 V	10 A	10 A	12 V	No
• SS-10L-12 V	10 A	10 A	12 V	Si
• SS-10L-24 V	10 A	10 A	24 V	Si
• SS-20L-12 V	20 A	20 A	12 V	Si
• SS-20L-24 V	20 A	20 A	24 V	Si



Con cubierta incluida.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Eléctricas

- Clasificaciones máx. de carga y fotovoltaica: Según lo anterior
- Voltaje del sistema: 12 o 24 voltios
- Voltaje mín. de la batería: 1 voltio
- Voltaje de regulación: 12 voltios / 24 voltios
- Batería sellada: 14,1 V / 28,2 V
- Batería con electrolito líquido: 14,4 V / 28,8 V
- Desconexión de carga: 11,5 V / 23,0 V
- Reconexión DBV: 12,6 V / 25,2 V
- Voltaje solar máx.:
- Batería de 12 V: 30 voltios
- Batería de 24 V: 60 voltios
- Capacidad de carga precipitada:
- SunSaver-6: 45 amperios
- SunSaver-10: 65 amperios
- SunSaver-20: 140 amperios
- Autoconsumo: < 8 mA
- Precisión de voltaje: 12 V: +/- 25 mV (común) / 24 V: +/- 48 mV (común)
- Protección temporal contra sobrevoltaje: 1500 W por conexión

### Mecánicas

- Tamaño de cable: 5 mm<sup>2</sup> / AWG n.º 10
- Peso (desempacado): 0,23 kg
- Dimensiones: 15,2 x 5,5 x 3,4 cm

### Ambientales

- Temperatura ambiente: -40 °C a +60 °C
- Temperatura de almacenamiento: -55 °C a +80 °C
- Humedad: 100 % sin condensación
- Tropicalización: Encapsulación de epoxia / Terminales de clasificación marina / Carcasa de aluminio anodizada

### Protecciones electrónicas

- Solar: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Carga: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Batería: Alto voltaje
- Todos: Polaridad invertida, alta temperatura, rayos y sobrevoltajes temporales
- Corriente invertida en la noche

### Carga de la batería

- Método de carga: PWM de la serie de 4 etapas
- Etapas de carga: Principal, absorción, flotación, compensación
- Compensación de temperatura:
- Coeficiente: 12 V: -30 mV/°C / 24 V: -60 mV/°C
- Margen: -30 °C a +60 °C
- Puntos de ajuste: Absorción, flotación, compensación

### Indicaciones de LED

- LED de estado (1): Cargando o no cargando / Condiciones de error solar
- LED de la batería (3): Nivel de la batería / Etapa de carga

### Certificaciones

- ETL con clasificación en la lista UL 1741 y CSA C22.2 N.º 107.1-01
- Ubicaciones peligrosas: Clase 1, División 2, Grupos A,B,C,D / CSA C22.2#213
- Pautas generales de EMC: Inmunidad, emisiones, seguridad
- FCC: Clase B, Parte 15
- CE
- RoHS
- ISO 9000

**GARANTÍA:** Periodo de garantía de cinco años. Comuníquese con Morningstar o con el distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

**DISTRIBUIDOR DE MORNINGSTAR AUTORIZADO:**

**MORNINGSTAR**  
corporation

8 Pheasant Run  
Newtown, PA 18940 EE.UU.  
Tel.: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
Correo electrónico: info@morningstarcorp.com  
Sitio web: www.morningstarcorp.com



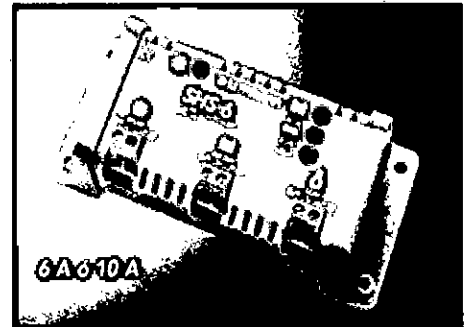




# SHS™

## PARA SISTEMAS HOGAREÑOS DE ENERGÍA SOLAR DE HASTA 170 VATIOS

La reconocida alta calidad y confiabilidad de los equipos Morningstar ahora están disponibles en un controlador solar de bajo costo. El **Controlador SHS** es ideal para sistemas de electrificación rural con uno a tres paneles solares. Este controlador cumple con las especificaciones del Banco Mundial y proporciona muchas prestaciones y beneficios.



### Beneficios de un Controlador Solar

Es importante incluir un controlador en un sistema de energía solar.

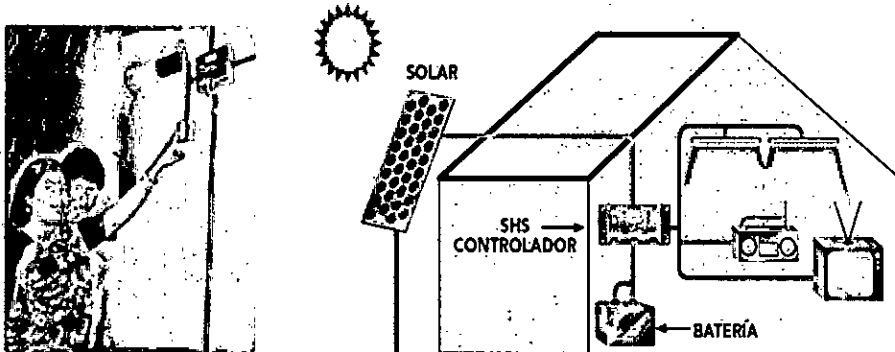
- **Reduce el costo de reemplazo de baterías**  
*La desconexión por bajo voltaje prolongará la vida útil de la batería. Las cargas son desconectadas automáticamente cuando la batería esta baja y son reconectadas después de recargada la batería. La carga completa incrementará la vida útil de la batería y la capacidad de almacenamiento. El controlador maximizará la cantidad de energía solar hacia la batería y evitará que la misma se seque.*
- **Proporciona información de utilidad**  
*Los LED muestran en pantalla información sobre el estado y el nivel de la batería, lo cual ayuda al usuario a operar mejor el sistema de energía solar.*

### Ventajas del controlador SHS

El controlador SHS de Morningstar tiene múltiples ventajas en comparación con otros controladores:

- **Bajo Costo**  
*El SHS fue específicamente diseñado para satisfacer las necesidades del mercado de electrificación rural. El bajo costo es resultado del uso de la última tecnología y de un alto volumen de fabricación.*
- **Alta confiabilidad**  
*Morningstar es un líder mundial en la provisión de controladores de carga solar. Todos nuestros controladores son diseñados para una alta calidad y una alta confiabilidad. El controlador SHS tiene un bajo régimen de fallas y prestará servicio por mucho tiempo.*
- **Protecciones electrónicas**  
*El SHS tiene fusibles electrónicos incluidos que no necesitan reemplazo. Ninguna conexión errónea durante la instalación dañará el controlador.*
- **Tropicalización**  
*La electrónica del SHS está protegida con una cubierta a prueba de humedad que minimiza el daño que podrían causar la humedad y los insectos que eventualmente pudieran anidar en el sistema.*
- **Facilidad de uso**  
*El controlador SHS es completamente automático y no necesita ajustes ni selecciones por parte del usuario.*

# SHS™ CONTROLADOR SOLAR



## INFORMACIÓN TÉCNICA

CAPACIDADES NOMINALES: (TODOS A 12 VOLTIOS)

SHS-6	100 W ó 6 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA
SHS-10	170 W ó 10 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

• Punto de regulación	14.3 V	• Indicaciones de los LED	Verde: en carga Niveles de batería: verde, amarillo y rojo Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión Los 3 LED destellando — indicación de errores
• Desconexión por bajo voltaje	11.5 V	• Terminales	Para tamaños de cable de hasta 4 mm <sup>2</sup>
• Reconexión por bajo voltaje	12.6 V	• Dimensiones	15.1 x 6.6 x 3.6 cm
• Tipo de carga	PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante Carga compensada en temperatura	• Peso	113 g
• Protecciones electrónicas	Cortocircuito y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga Polaridad inversa — en sistema de carga solar, en la carga y en la batería Corriente inversa por la noche Alto voltaje — en la carga Rayos — en sistema solar, en la carga y en la batería	• Consumo propio	8 mA máximo
• Tropicalización	Placa de circuito — recubrimiento según norma Terminales — protegidos contra corrosión	• Temperatura	-25°C a +50°C
		• Humedad	100% sin condensación
		• Encapsulado	IP 22
		• Cumple con normas de	CE, Banco Mundial

**GARANTÍA:** Período de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

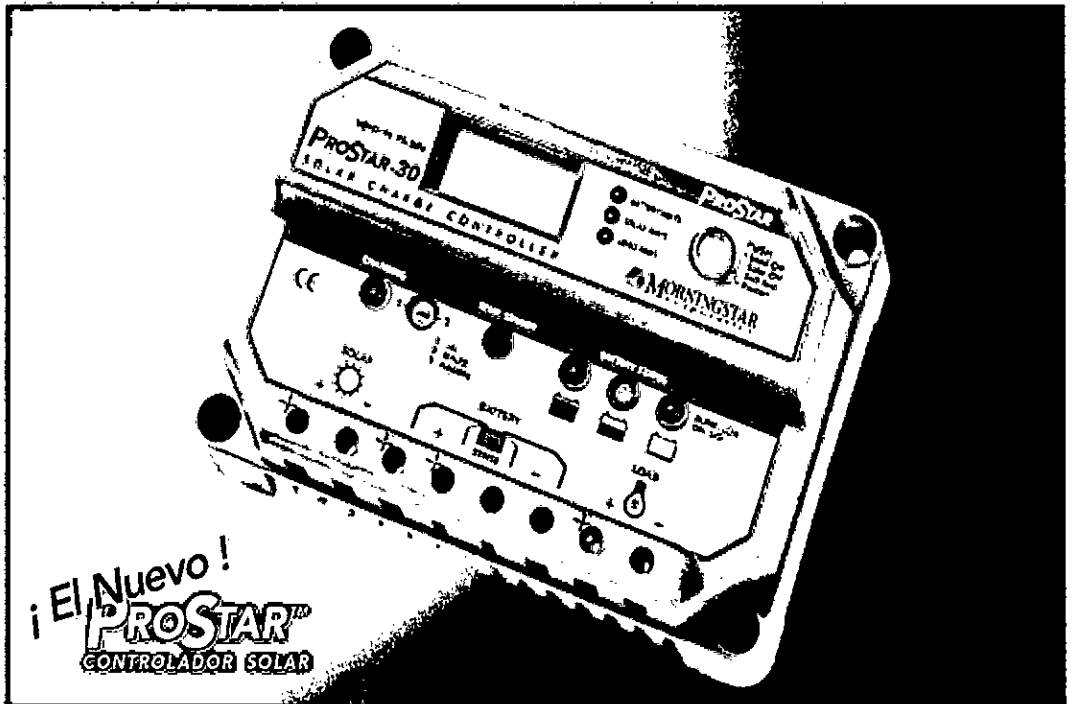
**DISTRIBUIDOR MORNINGSTAR AUTORIZADO:**

**MORNINGSTAR**  
corporation

1098 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 18977 EUA  
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com

CE

IMPRESO EN LOS ESTADOS UNIDOS 2125-F1-2-04



El controlador solar ProStar de Morningstar es el líder mundial en controladores solares de mediano rango, ya sea para aplicaciones profesionales como para el consumidor en general. Esta segunda generación de controladores ProStar ofrece:

- Adiciona nuevas prestaciones y protecciones usando tecnología altamente avanzada
- Proporciona mayor vida útil a la batería y mejora el rendimiento del sistema
- Define nuevos estándares de confiabilidad y genera diagnósticos automáticos

**Prestaciones Estándar:**

- Versiones disponibles: 15 o 30 amperios  
12 / 24 o 48 volts  
positivo o negativo a tierra
- Vida útil de 15 años (estimado)
- Carga de baterías mediante PWM (sin derivación)
- Selección del tipo de batería: gel, sellada o con líquido
- Controles y medidas muy precisas
- Puente para eliminar el ruido de telecomunicaciones
- Paralelo para hasta 300 amp
- Compensación de temperatura

- Tropicalización: revestimiento de protección, fijadores de acero inoxidable y disipador de calor de aluminio anodizado
- No es necesario conmutación ni medición en la pierna aterrada
- Componentes de estado sólido, 100%
- Caídas de tensión muy pequeñas
- Desconexión por baja tensión (LVD — Low Voltage Disconnect) con compensación de corriente
- Indicación de status y fallas de batería a través de LED
- Capaz de suportar sobrecargas hasta del 25%
- Terminales remotos con sensores de tensión de batería

**Protecciones Electrónicas**

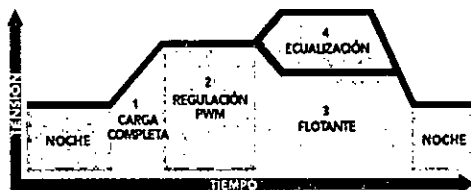
- Cortocircuito — paneles solares y carga
- Sobrecarga — paneles solares y carga
- Polaridad invertida
- Corriente invertida por la noche
- Desconexión por alta tensión
- Desconexión por alta temperatura
- Protección contra relámpagos y sobre tensión o transitorios
- Cargas protegidas contra picos de tensión
- Restablecimiento automático de todas las protecciones

### Prestaciones Opcionales del ProStar:

- Medidor digital
  - Visor de tensión y voltaje de alta precisión
  - Bajo consumo propio (1 mA)
  - Incluye botón de desconexión manual
  - Muestra 5 funciones de protección y de condiciones de desconexión
  - El auto-diagnóstico (auto-test) provee una prueba completa del ProStar:
    - Muestra 9 diferentes parámetros de estado del controlador, incluyendo la temperatura
    - Muestra las fallas detectadas
- Positivo a Tierra
- Sensor remoto de temperatura

### Carga de la batería optimizada:

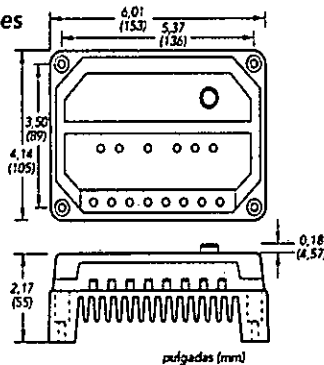
El ProStar tiene 4 etapas de carga de batería, para proporcionar una mayor capacidad y tiempo de vida útil a la batería.



### Especificaciones Mecánicas:

Peso:  
0,34 kg

Calibre del cable:  
6 AWG  
(16 mm<sup>2</sup>)



### Versiones del ProStar:

	PS-15	PS-30	PS15M-48V
Corriente nominal del panel solar	15A	30A	15A
Corriente nominal de carga	15A	30A	15A
Tensión del sistema	12/24V	12/24V	48V
Opciones:			
Medidor digital	si	si	estándar
Tierra positiva	no	si	si
Sensor remoto de temperatura	si	si	si

### Puntos de Ajuste de La Batería\*:

	Gel	Sellada	Con líquido
Tensión de regulación	14,0	14,15	14,4
Flotante	13,7	13,7	13,7
Ecualización	n/a	14,35	14,9/15,1
Desconexión de la carga	11,4	11,4	11,4
Reconexión de la carga	12,6	12,6	12,6

Observación: los valores están especificados para 12V.

Use 2X para 24V e 4X para 48V.

### Especificaciones Eléctricas:

	12V	24V	48V
Compensación de temperatura (mV/C)*	-30mV	-60mV	-120mV
Precisión	40mV	60mV	80mV
Mínima temperatura de operación	8V	8V	15V
Autoconsumo	22mA	25mA	28mA
Coefficiente de corriente LVD**	-20mV	-40mV	-80mV
Algoritmo de carga	PWM, tensión constante		
Temperatura de operación	-40°C a +60°C		

### Visor digital:

Temperatura de funcionamiento	-30°C a +85°C
Precisión de la tensión	0,5%
Precisión de corriente	2,0%
Autoconsumo	1 mA

\* Referencia 25°C

\*\* por ampere de carga

**GARANTÍA:** Cinco años de garantía. Contáctese con Morningstar o con un distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

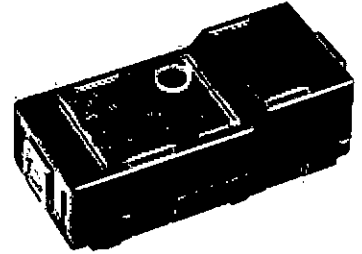
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:



1098 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 18977 USA  
Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com

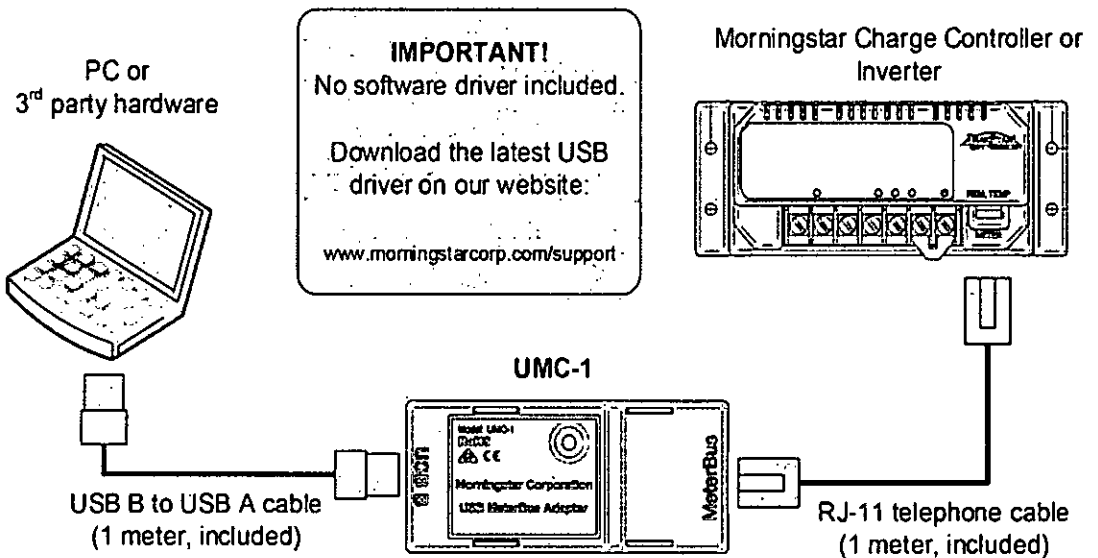
## Morningstar USB MeterBus Adapter

The USB MeterBus Adapter (model: UMC-1) converts the Morningstar MeterBus RJ-11 electrical interface to a standard USB 2.0 interface. This allows communication between a PC and Morningstar charge controllers or inverters that have a MeterBus connection, but no serial or other communications port. This includes the SunSaver MPPT, SunSaver DUO, and SureSine products. The UMC-1 is required for:



- Programming custom charging set-points
- Logging data using Morningstar's MSView PC software
- Communication with any 3rd party hardware that supports MODBUS™ communication.

### Wiring Diagram



**Notes:**

- 1) 4-conductor or 6-conductor telephone cord is acceptable
- 2) The UMC-1 is fully opto-isolated. USB electrical ground is NOT the same ground as RJ-11 / controller.

MODBUS documentation including register locations, scaling, and definitions can be found on Morningstar's website at:

[www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com)

# APÉNDICES

## Apéndice N°1:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 1 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
% Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
% Xi = 2x2 cell 2, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
% Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 8xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 2x2 cell 2, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
% Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 8xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMTO>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [1195.41;580.722];
x1_step1_gain = {0.000329044295778576;0.00507518892390769};
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 770.392;
x2_step1_gain = 0.000310155899863066;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
```

```

b1 = [2.1976101076066752;1.6130541241746172;0.91061620924865994;-
0.24841312467136586;0.43799883078042101;0.6625319445076101;-
1.4100288485771117;-1.976882292867187];
IW1_1 = [-0.71222803946647806 0.49538072474638889 -0.51365982001143629
0.84212628874877604;-0.3331550600841805 -1.1402990683584766
0.22928393132688291 -0.28812854620643241;-0.54751136218511465 -
1.4006205392095714 0.081698618673350126 -
1.2939704303595698;1.1580947502373342 0.60768326577032938
1.3349725084177686 -0.33556651684747035;1.0693757911506907 -
1.3160082930225789 0.68705496937745236 -0.50893930071404947;-
0.055978723425818715 0.99514926446917507 0.8679065950426349
1.0936546169455572;0.018016552684915005 1.533842347143922 -
0.27277552333310984 1.3592558488262236;-0.96343222094739667
0.34638686578386718 -0.52299379441737071 -0.98858521597655413];
IW1_2 = [0.31167861479598363 1.42722828508356;-1.0529800612588387 -
0.32845454089481968;-0.48201876082301226 -
0.23741392285504365;0.51054827796965407 -
1.143175446832418;0.97796921571786177 -0.71481343755660842;-
1.0211513551280058 -0.024652377050650327;0.2550790592884441 -
0.76539275036122989;-0.99126416089588865 1.1180815779254247];

% Layer 2
b2 = 0.41073254519147062;
LW2_1 = [0.21569138453181319 -0.76321705086200642 0.31392714607486483 -
0.43752143411862016 0.71791107299650692 0.34356590888046978 -
0.14466815656112325 0.41261856538408798];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000310155899863066;
y1_step1_xoffset = 770.392;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```



```

% Input 2 Delay States
Xd2 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Input 2
    Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    tapdelay2 = cat(1,Xd2{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xits = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xits)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);

```

```
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);  
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);  
end
```

```
% Sigmoid Symmetric Transfer Function  
function a = tansig_apply(n)  
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;  
end
```

```
% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function  
function x =  
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)  
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);  
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);  
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);  
end
```

## Apéndice N°2:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 2 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
%   X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
%   Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%   Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
%   Xi = 2x2 cell 2, initial 2 input delay states.
%   Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
%   Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
%   Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
%   Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
%   Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
%   Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
%   Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
%   Xf = 2x2 cell 2, final 2 input delay states.
%   Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
%   Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
%   Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
%   Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
%   Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [908.542;601.415];
x1_step1_gain = [0.000338756313782521;0.00544457692914972];
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 595;
x2_step1_gain = 0.000326034241746239;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [1.5412704999603972;1.2627450136859648;-
1.368240333192204;0.40518198632184654;-0.32132749831659402;-
```

```

0.0075318833803102447;0.68231957061828852;-1.3209805176181491;-
1.728724007593734;-2.0550942240485655];
IW1_1 = [-0.47216602976304856 1.42276068940699 1.4676279132173438
0.74224190217510932;-0.78368890163697547 -0.83806365424710583 -
0.9261065559976257 -0.30450972888063293;1.0140464530085846
0.33753538134195199 -0.57479485153174958 0.15918034937531961;-
1.3942411620882993 0.3352419732966947 -1.1071097702603883 -
0.38196370608612473;0.78679128314248692 1.050191349373073 -
0.8756579055579824 -0.74485924958782035;0.12056601432039388 -
0.9704686096065136 0.98874859990985409 -
0.7111776388040929;0.57798958638740405 0.040057772234592337 -
0.25600170845830433 -1.1653250295907984;-1.3619127651727272 -
0.6082415415202469 0.33139578918095292 -0.89343444717008003;-
0.17961881847812547 0.63643634171858254 -0.9325365398505554 -
0.63969303986933923;-1.3002403818934352 -0.09101297278997561
1.0877044686908792 -0.16178079446573404];
IW1_2 = [-1.4179914468425121 -0.83996704761957841;0.45444738112259031 -
1.0722061267297336;1.0542819067213502 -0.22025187421028533;-
0.19429713200339016 -1.0186341206997891;-0.12793069661103523 -
0.50926368013502765;-0.30153300838293012
0.99667740779170622;1.0035304937986644 0.53927388974524093;-
0.72703766791689006 0.11990711407633331;-1.1488090479153399 -
1.2121548536674875;0.80783102434138498 -0.83727634304106291];

% Layer 2
b2 = -0.41823029562640379;
LW2_1 = [0.093365226552890729 0.60698910714907806 0.022109929277389154 -
0.1937897651454884 0.44739550095088354 -0.33463056456067414
1.0080144170793781 0.23702619516841006 -0.64762558539724369
0.12504208926947497];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000326034241746239;
y1_step1_xoffset = 595;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

        Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Input 2 Delay States
Xd2 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Input 2
    Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    tapdelay2 = cat(1,Xd2{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xits = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xits)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

```

```
% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end
```

```
% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end
```

```
% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end
```

### Apéndice N°3:

#### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 1 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1,ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2,ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
xl_step1_xoffset = 770.392;
xl_step1_gain = 0.000307539626096398;
xl_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [6.6136761060591835;0.70734571667884494;-
4.4159321962505471;2.8801866772679561;-
0.53354393603651828;0.010014510506742139;-
0.85353593318317544;1.1296827082550647;-4.9115727948512005;-
4.9829044434550873];
IW1_1 = [-1.2524980440546549 -6.2894941956551742;-2.1814167406431491
0.22456149199652392;3.4493179850549973 -4.0052773817962919;-
2.5772139585780001 0.049055259691554241;-1.6035884055701395
6.0350395290787961;-2.9792597100527369 3.0432481210465738;-
9.6020081691803529 0.95137150428656736;4.8561109853861453 -
```

```

7.845744425928963;-3.1339612922751607
2.9267929263539512;0.52526257297085388 -9.5550585838977504];

% Layer 2
b2 = 0.1979163913772799;
LW2_1 = [-0.17098791909819763 -0.33684810467199505 1.1507254983408597
0.23908397132966924 0.075717774264504933 -0.67651951924276676 -
0.10361183857934901 -0.17372141324671686 -0.99152296822007246 -
0.14160907652271065];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000307539626096398;
y1_step1_xoffset = 770.392;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

```



```

% Layer 2
a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°4:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 2 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 595;
x1_step1_gain = 0.00032167316366039;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [1.0400559613699785;-3.0681664152314436;3.0660355418865275;-
1.0485230979810014;1.0968156760836725;-
2.4646871807893986;3.2247902724100408;3.7872570929404961;3.10132338228417
84;-4.5471389435853649];
IW1_1 = [-2.5281086085192008 0.85939246346337339;-0.44160046902009531 -
5.4437976486301292;-3.4474306546415638 -
2.2422753131704436;2.7940737812393501 -
3.9154682673960783;2.7495730733898158 0.21266701536989618;-
2.3850122872521973 1.856561632704723;3.161140447694391 -
2.6238384405346169;3.6225452895068182
```

```

0.41842083932872842;5.6652266084565648 2.4180823971048886;-
3.5874467521952282 -2.0105472094694332];

% Layer 2
b2 = -0.50333470121868096;
LW2_1 = [-0.71133122893465117 -0.55557282615021686 0.039024642106487685
0.5247080814983095 1.1477087340106378 -0.21468959471452775
0.53743374216492801 0.56281464168455142 -0.95337146193926037
0.43325983847927257];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.00032167316366039;
y1_step1_xoffset = 595;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

```

```

% Layer 2
a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°5:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo Entrada-Salida no Lineal - Caso 1 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
xl_step1_xoffset = 580.722;
xl_step1_gain = 0.00507518892390769;
xl_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-4.4268342433427614;-
4.2686257372332852;3.0045228005543949;1.6761866792594473;0.41855266673123
576;0.866195175340293;-1.2253355437262867;2.4217561910729573;-
3.4647391736638933;4.4489603536971405];
IW1_1 = [2.6175535370875584 -3.5709655297628036;4.9786246591544883
0.919389226729312;-3.2572587244690325 2.7660121375226181;-
3.3759659315409554 2.7953417094570705;-0.1907777538521032
4.2442887891368652;4.3002786237181958 0.30297206515849912;-
1.7909865681185688 -4.0785521332557568;1.1579605336241798 -
```

```

4.0868843448066059;-3.3193978177615877 -
2.9107650624546717;2.601249363317514 3.5328331523008352];

% Layer 2
b2 = 0.061576248395335251;
LW2_1 = [0.10869530165624726 0.40689738722440427 -0.47288932223635394
0.20170227563432253 -0.1429013474316958 -0.48879306341568896 -
0.38781677277728793 1.4749694227856101 -0.12334423954418072 -
0.15662642443649111];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000310155899863066;
y1_step1_xoffset = 770.392;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

```

```

% Layer 2
a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°6:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo Entrada-Salida no Lineal - Caso 2 de la Hipotesis 1:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 601.415;
x1_step1_gain = 0.00544457692914972;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-4.4185372514278241;-
5.7524662313411801;5.1392785902416245;0.58488410611332631;0.9296614876830
8388;0.84266884311648094;-2.0896027394607448;4.2375720789085314;-
3.4277607150759342;4.3646878611093189];
IW1_1 = [2.6252430104064919 -3.5639898923245372;8.2291853702562587
5.1241078481084701;-4.880731886649202 -0.82128826439813829;-
5.333830459515875 0.74992923942278999;-0.14672279622324119
4.2603755686136573;4.6129342038930057 0.60471247102564896;-
1.547639317342222 -3.752424159495328;2.9217361677647018 -
```



```

1.7672536917187356;-3.3178342325799575 -
2.9132801994193387;2.6574478434277498 3.6035694898152939];

% Layer 2
b2 = -0.97259584297830914;
LW2_1 = [1.1466773204649348 -0.0082733127937430068 1.0272805515883403
0.40911836487000264 0.91007423399526255 -0.73358391781439802 -
0.057316972549410594 1.8532824447337783 0.067390147106486845
0.022197371010576943];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000339400052708828;
y1_step1_xoffset = 595;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

```

```

% Layer 2
a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y(1,ts) =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°7:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 1 de la Hipotesis 2:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
% Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
% Xi = 2x20 cell 2, initial 20 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
% Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 20 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 2x20 cell 2, final 20 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
% Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [1605029.7;15890000];
x1_step1_gain = {1.11812239699009e-07;2.90275761973875e-07};
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 2564241.8;
x2_step1_gain = 1.29025800947497e-07;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-1.5520879373307728;1.1148867949259533;-
0.87118650462377678;0.39956681444911091;-
```

0.10325365419363425;0.17566549012299923;0.52693544261515401;0.81781942132  
070884;-1.108572935150721;-1.3523350213424949];  
IW1\_1 = [0.06082718055206051 0.078307249177375429 -0.25856071919307244 -  
0.21115703548897247 -0.076331322060539872 0.29698680244342873  
0.29396543671626779 0.28125633280242684 -0.15837130525443988 -  
0.16721448350328177 -0.38799322257539731 0.33199327917059623 -  
0.14191061772460239 0.21945266985601325 0.11034478532022156  
0.06679419791926873 0.11239835180999899 0.24403832425330368  
0.14170659618630632 0.12852057382492507 0.11040359958669847 -  
0.089533183328134341 0.037166687682168305 -0.0038127530145411334  
0.13693757436483375 -0.22447430576699082 0.19844706736886117 -  
0.03534277501029711 0.20452769060191314 -0.037460193183012871  
0.30505495676565775 0.06490622513487744 -0.18081871446469588 -  
0.022596467686949381 0.016917953303957587 0.08323972331488215  
0.25569652582768854 -0.24653002798016196 0.086628692106487631 -  
0.31450539722455167;-0.32921320627363843 0.15373802974460674 -  
0.30439773322299213 -0.063881808736175605 0.20873442899273018  
0.055166934722323611 -0.023269511451492302 -0.30897923546830247  
0.29744125274250477 -0.30894240639686082 0.30270412806353358  
0.248932472165907 0.33769807833764676 -0.16772398552594533  
0.17882973329704699 0.0136870120707438 -0.15102578877830958 -  
0.035893496553941438 0.18097989239280385 -0.041989705406684334 -  
0.1891011035398267 -0.0048770832613596361 -0.16125646300034427 -  
0.22797891926894986 0.14259713981064184 -0.18706996534229897  
0.046748103692343737 -0.063315275673400395 0.013074020956970037  
0.22139771009198647 0.17252460444183187 -0.018683493645804222 -  
0.2486220704186147 0.34529700005922298 0.19544335689010359  
0.16583992921250343 -0.010490551658000591 0.23511905992562912 -  
0.31808332869034611 -0.0085512764628415117;0.087211687095037183  
0.080626270662901955 0.09428504589992108 0.055713630380335222  
0.21284683258853834 -0.21635485308723934 0.18838982102204443 -  
0.21418421909674962 0.05325709746858321 0.11946091702591569  
0.1547448479454599 -0.20412348919048623 -0.039421714847857635 -  
0.23046661447164496 -0.11118238108049498 0.26309606688824588  
0.1093485033217957 -0.10181771001564396 -0.3396423774518324 -  
0.086332564671828219 -0.18750405325790734 -0.30788353218364634 -  
0.087706293840556795 0.18060620527264873 0.17253504447324189 -  
0.10672648062034956 0.16504040243376997 0.30259823547195425  
0.1519759089168837 0.04845631516433474 -0.21701678938023203 -  
0.33470215309092577 -0.035977278018216881 0.076270626632791522  
0.03413307834850738 -0.063331490807350371 0.15963768731383324 -  
0.31858536695247791 -0.0068123280340108656 0.046948881645632275;-  
0.2141178401490976 -0.15455001736032603 0.16956771085744893  
0.11136947000963809 0.23922523116279631 0.11911805075537472 -  
0.24621536991734627 0.2505679046513089 0.11907125744446742 -  
0.13241607655516058 -0.14254747596339029 0.28789840544435014  
0.27386935324613243 -0.19375868899749057 -0.089822404809862935  
0.027045213071541958 -0.33484430559236722 -0.27400851987283686 -  
0.37112917170822785 0.19333438613385795 -0.019490090901530317  
0.036151000117928531 0.27220199526847816 -0.16013881091959131 -  
0.18524121817701142 -0.20009506011310674 -0.079353556687283208 -  
0.15789305650854468 0.18126780549535035 0.13760686781699868  
0.17364948843514127 0.077415944910727327 -0.16470298509222986 -  
0.066658150808617367 0.13444823577910256 0.092616243398867551  
0.18814734549570089 -0.082127125024279254 -0.13489362181564465  
0.15969335773421103;0.16472444208173093 0.21056782382265851  
0.093685323172770577 0.14645810089252836 0.039357428967793776

.065432031381134334 -0.10913467851860048 0.058304743959079475 -  
.19244250318070333 0.34096340819512877 0.084861424343334935 -  
.17813466738117451 0.27818773625856008 -0.17006536728209332 -  
.23776633919444659 0.30843075051136049 -0.19776666684238192  
.32753806390311718 -0.23503537296906693 -0.027827018542177236  
.0048503512989862725 -0.16274893419815983 -0.034615249287142415 -  
.28256269562717551 -0.12896063351997841 -0.36680383045548837 -  
.023257200435201703 0.074954334548283208 0.11572816877013761 -  
.14847047373413014 0.32518621965743366 -0.063278515292764154 -  
.31749386894658793 0.052717824079384232 0.27509097530503868 -  
.20120588151838667 0.066375678434573385 0.042078407847653466  
.1115150952576377 -0.083880762037163811;0.014667234313517146  
.042862419832865192 0.28243729377854832 0.27700577695390993  
.12728289379407942 -0.010870930262297024 0.2198396219041624  
.1769529515221617 -0.15133455555583142 -0.24809596349860835  
.15930810263711226 0.033403601439090248 0.033700079888018264 -  
.023439842813099493 0.077409212378922204 0.19831460768549539 -  
.15265595005413099 -0.16343041916986251 0.21198358915602913  
.1333479355934474 -0.24849594838639369 -0.11911434810300202 -  
.27685452684970852 0.085000390604332787 -0.21036063347101902  
.25771932247199847 0.19068023046165083 -0.23544539139155832 -  
.23239110996979731 0.15787344695815955 0.089069943343479674 -  
.17743736931003853 -0.090486707266998548 0.25252588484760358  
.044608011659633122 0.2010044878756137 -0.28002199956521878 -  
.016063551225217514 -0.19926641012119928  
.25997373068325369;0.26305970248147298 0.2677954252442416  
.040577028454010518 0.25772980621406477 0.14723487094414839 -  
.26401839383200354 -0.20860208682097292 0.016054398767051541  
.0043547864221353087 -0.2975991436725115 -0.16212240651686949 -  
.24718985216937439 0.029478445672426985 0.26653737529898286 -  
.26120506131769972 0.13275003630867516 -0.12241964983118067 -  
.21114961939302468 0.10025132309363363 0.1847093502403625 -  
.24996580246383204 0.052568384730841057 0.19406615012976877 -  
.26703287276387 -0.20662353598766883 0.093031106881408893 -  
.14541241538659294 -0.0065151029406294971 -0.29130885324408506 -  
.17211376142671778 0.17459281921411218 0.17827371331182318  
.28002233962582668 -0.15653110950220656 -0.091389964430870496 -  
.15407384942717423 -0.088488135100348184 0.27989204847406712 -  
.23337353977528649 -0.25398223096946781;0.23460665905318209  
.1399568627735199 0.041064585958026957 0.0063452373942766817  
.16739406941259935 -0.19673162238135117 0.006992559156452716  
.22061576548893447 0.30901179116726929 0.23668664146519852  
.21355338951684366 0.31052465939865753 0.016258787204031254 -  
.073319948980799507 -0.11184316522086321 -0.32658769137696436  
.0062537171820056846 -0.1304609546301134 0.31844597143411513 -  
.17009537007096243 0.048572136935275838 0.22281102113155979 -  
.017728626265116981 0.14169281476131135 0.15957097233435494  
.30234648680777121 -0.30927784219651672 -0.27743287919723048 -  
.012649582120544881 -0.0075438583686070855 0.32883925223533766 -  
.02041694492526467 -0.046616646038808635 -0.10852087702678687 -  
.012713139991278729 -0.021526599258923265 -0.25607100056548132 -  
.15342032084624138 -0.026640664311280524 -0.20602041207688104;-  
.12634617654520303 -0.051742896621728214 -0.084321327521019146 -  
.086306525804552683 -0.28139197685066836 0.10271936582120177  
.19316785732298594 -0.24528376743359351 -0.22745359122510159  
.063165806181350079 0.16237111296731355 -0.0038502837371989255  
.012055352344274184 0.27080257363414645 -0.22268799521502256 -

0.10298329422678935 -0.10771154433775675 0.15665635283001747 -  
0.28799763984826054 -0.15408004718126217 -0.15823675814930169 -  
0.14665306950318055 0.26183206962339972 -0.09561863033927688 -  
0.12893377311064347 -0.26846441722409253 0.27398707961399288 -  
0.20306729357723124 0.19246514099177461 0.16103508469502778  
7.9043316884418914e-05 -0.20591396226141748 0.29259651065448211 -  
0.20541830510851836 0.050729453509595485 0.24562691483698232 -  
0.2294930551584862 0.27386333405296603 0.19696315378540927  
0.26655296798434158;-0.10893894085004512 -0.020659546700264261  
0.15348865198134135 0.067855875804349486 0.037163909141625186  
0.076338562792652262 -0.18841949282893244 -0.27047351579594192  
0.35423067462294472 0.30735209797043866 -0.010372562423758386  
0.24451726596602008 0.13542849672959367 0.057850887574628633  
0.36231535816507882 0.24114294519230145 -0.18423382905371277  
0.34507473435043245 -0.2455061711793376 0.11555132037174784  
0.32646044512087419 -0.22307337135976499 0.10339274739626735 -  
0.034189548837501922 -0.18379889308588976 -0.13894704476701561 -  
0.32565563466244291 -0.30738775333309815 0.099007807937058392  
0.24800905065775378 -0.10187815860871702 0.11215668849460275 -  
0.28624406943816849 0.081883685216140395 0.1339915268025037  
0.2902033278133701 -0.12255264355799762 0.076495841140432563  
0.17432700730111511 0.19089633325033944];  
IW1\_2 = [-0.072035711869076008 -0.18456964566458905 -0.14175600048716458  
0.29929430030803855 -0.050914993997129482 -0.23485438987071217  
0.025705852962362722 0.17077717479576221 -0.0057391440532181953 -  
0.099780929365839086 0.26634397003771737 0.084186036050448637 -  
0.035824713159551234 -0.13814200564573123 0.28255563995329236 -  
0.13225625505914737 -0.18328483931467635 -0.083397550732069128  
0.081769247647721199 0.006651983216155192;-0.19497758718750749 -  
0.018670008263951262 -0.25478434908534675 0.140831456315204 -  
0.20823580738317393 -0.052362542895053855 0.10260759286428003 -  
0.093816553759087068 0.17319752989043952 0.032950567818419832  
0.1279103816459822 0.08970477366438373 0.285000597273183 -  
0.035991529770942554 0.010945409901755838 0.072466131335240103 -  
0.32618454110560635 0.17779943645174709 -0.21263148041377752  
0.0986091386321504;0.12213531088225417 0.19315768959744109 -  
0.20275597493184566 -0.33116748553715408 0.030994209550537985  
0.048978746076945974 -0.041383805126557843 -0.31937858589754126 -  
0.17830166636164158 0.14215303555986356 0.29702160968092439  
0.19689136612212135 0.20160100995493843 -0.15139688502310381 -  
0.30282315741853549 -0.27356531635144449 -0.39685038547757467 -  
0.27070410527247246 0.2803334826174374  
0.18343492349247048;0.26802752037865046 0.27889441760795081 -  
0.016260706857989578 0.28269685298994274 -0.21229973392308538 -  
0.1505701687939642 0.072026864521358022 0.19723135988655283 -  
0.32094784367536944 -0.38492391850646035 0.12047783103915279 -  
0.098768834941799291 0.11783767393642455 0.062638402149948244  
0.028680511430286396 -0.40512936432807162 -0.0084826672900505194  
0.23445257451924534 -0.17225982308752083 -  
0.080823586952474172;0.14220240373901663 0.25952148534994957  
0.14647915807216644 0.17141362830608328 0.21104900840243782  
0.22127086493413556 -0.3110305943642277 -0.12836063443457155 -  
0.025499454887947338 -0.2298334388899807 -0.077102852060702595  
0.19967740932490863 0.20947596894371515 -0.080639237421008411 -  
0.22425748075628951 0.19720314587257096 -0.13627710998604431 -  
0.29214251086553844 0.042947522620736395  
0.027841703873481023;0.20937578566098897 -0.16796100334869857 -

```

0.23869552062224381 0.098016938606450721 0.13429325464490005 -
0.14392068657782298 0.29068906038998693 -0.017572500542058857
0.27405452286620596 0.026677862289058451 0.29615853785642793
0.11990385941150143 -0.29338113385509429 -0.24568626040317829 -
0.077460072577644881 0.23009671700618145 0.15860506433954299
0.21900796043772941 0.26566427871717652 -
0.071137965964199149;0.27987723661988972 0.096116087913082862 -
0.0056208643124116145 0.19223761334450259 -0.17486435629004304
0.05840151089188407 -0.20589185549646652 0.1824415549291182 -
0.20631048326035359 0.058075539580065241 0.09482970465899547
0.10643358284819369 -0.033835620114325768 0.18109982379924616
0.25746814284942476 -0.10519712039331805 -0.15431625916652961 -
0.1644701856297181 -0.0046697963429537812 0.20420550693962436;-
0.18510971308611518 -0.080570073300046771 0.1593250910081315
0.31337995810146702 -0.22283817431919783 0.067606142556269927 -
0.027490551386398158 -0.0077000996533953814 -0.033947513182031194 -
0.13154431682903264 0.16084956292229194 0.25027176006597796
0.21458365311699068 0.18808039824613365 -0.23013481416479376
0.35721821943705939 0.23640634967838769 -0.17322244390340474
0.19408189425458666 0.27265001349406498;-0.24903287999660309
0.19716799240849031 -0.28992143707336049 -0.033889257680873856 -
0.12643130018560556 0.25773090641333946 -0.22135840776481319
0.21930011828862211 -0.08538868081796161 0.055190341760685505
0.19829780391517449 0.0071724344358757245 -0.27934815914635774
0.20464391234074378 -0.28947503591177492 -0.1406676461182034
0.061549541949946038 0.1046849653848213 -0.20845124141170393
0.14455561014149107;0.1305220482213558 -0.027663377805268501 -
0.20780182812982428 0.15774870290399243 0.22301475552996178 -
0.33228632257062263 0.31413475536325453 0.21407526300470064 -
0.068492891329545461 0.042112418860956777 0.20082190682130655 -
0.20310806932607592 0.0019556642890575793 0.025400581698954358 -
0.012865410944657738 -0.11510030847836061 0.31788433404775934
0.2957080061896985 0.28027200004465747 0.022785190028324145];

% Layer 2
b2 = -0.50874985100164971;
IW2_1 = [-0.5455421007432788 -0.54666157230964285 -0.9602694947595849 -
0.7322504611792634 0.74523054334038863 -0.13801965673335231
0.20616119997043036 0.55989673790410832 0.1435024540071376
0.50143552020021431];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 1.29025800947497e-07;
y1_step1_xoffset = 2564241.8;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,21);
for ts=1:20
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Input 2 Delay States
Xd2 = cell(1,21);
for ts=1:20
    Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+19,21)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Input 2
    Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20]-1,21)+1});
    tapdelay2 = cat(1,Xd2{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20]-1,21)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States

```



```

finalxts = TS+(1: 20);
xits = finalxts(finalxts<=20);
xts = finalxts(finalxts>20)-20;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°8:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 2 de la Hipotesis 2:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
%   X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
%   Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%   Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
%   Xi = 2x20 cell 2, initial 20 input delay states.
%   Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
%   Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
%   Ai = 2x0 cell 2, initial 20 layer delay states.
%   Each Ai{1,ts} = 10xQ matrix, initial states for layer #1.
%   Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
%   Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
%   Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
%   Xf = 2x20 cell 2, final 20 input delay states.
%   Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
%   Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
%   Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
%   Each Af{1ts} = 10xQ matrix, final states for layer #1.
%   Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [2210195.4;15890000];
x1_step1_gain = [1.11472652843248e-07;2.90275761973875e-07];
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 3148039.1;
x2_step1_gain = 1.21336501421296e-07;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-1.4869352722375;1.1719687397070195;-
0.80657297856194643;0.48428240942157297;-
```

0.15095660100479311;0.17234247117111576;0.49594026782920758;0.76069377460  
546028;-1.2210857370125099;1.4396060437219171];  
IW1\_1 = [0.27266889112110865 -0.12931379163351511 -0.25445475072305324  
0.056822040610046649 0.0091146661866676332 0.22199970988976467  
0.29796841984890776 0.0037952313274748346 0.02025338355119171  
0.073160629703927102 -0.1440020590438886 -0.13122932073155857 -  
0.33123780937276065 0.12910793808748308 -0.10444691478879109  
0.13703007420948421 0.079546553651892046 0.05204455143416397  
0.033696130287570313 -0.34334433878162435 -0.098251250963684658  
0.019866303413125938 -0.20993063089273334 -0.1292524162973899 -  
0.10294116025841306 0.12936696641700166 0.30981256059509943 -  
0.13577281208985764 0.31532893248062305 0.2791755430833458  
0.0028741226989034384 0.14198812554616402 0.13311787981469622 -  
0.18385432531035761 0.28189056629412229 -0.32324039159633799 -  
0.28253916408425983 -0.19882885000808792 0.1900966414319567  
0.0040884794622634028;-0.19413307875693303 0.098263638243427376  
0.32392476011250004 0.25985151970317638 -0.22840472583927815  
0.24734865575529486 -0.25283239704174476 0.19671172968163242  
0.22928288424927443 -0.1776175746896255 -0.2115317560554742  
0.11872852066947315 0.045432828427564173 -0.29874921266295712 -  
0.18737168602210597 0.10871513160768445 0.22084288284202908 -  
0.033715798144064044 0.084654493642513443 0.25168503383859547  
0.28714992201608747 0.24073491704405725 -0.1721926452602249 -  
0.23989378403097272 0.2113542981724722 -0.28699507907026534  
0.094170067609639474 0.16216992509525519 -0.077469075226430373  
0.076516205366414569 0.15181359800644409 0.22593645883547225 -  
0.071073393626341907 0.14751126618327295 0.072847457577009736 -  
0.08077673152158385 -0.029921379002979514 -0.17580343123105116 -  
0.076428987856516695 -0.19530979600175774;0.28504788730135933  
0.19078404715651814 -0.020353069416781326 -0.01324476910679478  
0.21801579525763248 0.28368400093044255 0.12307574165902954  
0.24088489943394367 0.30759422132186603 0.27024645476946985 -  
0.29922126211526612 0.13415304405695735 0.018301262204260694  
0.1655756541192013 -0.051388055066906808 0.088817458520982245 -  
0.22746475233172433 0.04839841686264082 -0.082939250600021205  
0.29079040755350422 0.20954318153417845 -0.0013201369865311673  
0.12329223667610414 -0.11912218384250114 -0.29096956632950005 -  
0.058765932451047012 -0.27499918405970869 0.21426821219409356  
0.072549567330996212 0.0089517879688737322 -0.25391946267337911  
0.16019080104888508 -0.081087818369653245 0.24305644503429452 -  
0.048243072875148459 0.17687003307345556 -0.17111498443499737 -  
0.20748959602299746 0.26179387020931022 0.25722289131850867;-  
0.049934580855936481 0.027857019832503077 0.034367116934330873 -  
0.10074443365554156 0.23394894654357787 0.10629585702819121 -  
0.0090417985363423076 -0.19043901119285891 -0.029501273428549822 -  
0.27024665822475002 0.01577400279724523 0.16974074343912321  
0.096427224164057107 -0.2842254836152826 -0.22356899363411667 -  
0.19064854136662873 -0.12591914981550645 -0.1758506063869496 -  
0.16409624529498468 0.32477011747694629 0.38622496779712995  
0.21985653273688754 0.21776317347404411 -0.33259886813635653  
0.060736448309403508 0.13749386368350139 -0.2657389239183966  
0.28469713399140956 -0.18085685767795673 -0.12485170882811848  
0.30371626357999948 -0.042976184807955904 0.072438812219419696  
0.08422727905231811 -0.19477407466250768 0.019562569153320768 -  
0.077979011945429319 0.267561549801971 0.053864290643802298 -  
0.27433445361701075;0.25315674372891134 0.1307948797313925  
0.26177576281965181 -0.16285184405310874 0.19241447306508311

0.12042419070711975 0.041529533045978805 0.12662548699289564 -  
0.22724943796686944 0.22117642021097547 -0.2730945209699106  
0.11057736226041527 -0.13699170870309529 0.22523338591046124 -  
0.26320266156553196 0.074119872281004029 0.21492209405510168 -  
0.33003898731851761 0.0035139443937070997 -0.023235255118980475 -  
0.37806064250129545 0.0035674254577613375 0.21985461544018803 -  
0.1267823325298853 0.31672262882301055 0.29219928973018938  
0.23090626594770305 -0.20974470266795811 -0.083546149646406886 -  
0.086151837064083442 -0.33862425526995693 -0.048551002220175735  
0.035536921103362665 -0.14659337623181729 -0.24036584849064493 -  
0.22996575640649938 -0.20284975655198703 0.13891641429087179 -  
0.26238716558423519 -0.073428928397304249;0.25080582699365561  
0.18750506712107473 0.29512478773964224 0.30921873068470851 -  
0.018379818469487809 -0.22597719321663176 -0.29623186170192611  
0.29410260298230739 0.10533316601215351 0.18072450216647945  
0.18634003952762868 0.046073839168934372 -0.14369877943887274  
0.077811821267515582 -0.10288497770534268 -0.10801114380921228  
0.028135099012645798 -0.036705618339659372 0.0067880867838536647 -  
0.055585542856211957 -0.24397876701534721 0.15145933367096157 -  
0.18849188390361402 0.041493329773134691 -0.0039247232476864137  
0.3004776414561367 0.15562540090268454 0.25286705130712733  
0.022718447476568732 -0.028497279423268973 0.24540265610076897  
0.11947346270218051 -0.059140819820032317 0.21050204672751965 -  
0.30504120548055419 0.12462111260701575 0.18853453090947256 -  
0.28213082187850769 0.24624720556746357 -  
0.22602585622922861;0.16621974415227839 0.14357791080965418 -  
0.1004763093656882 0.13467874098350877 -0.036470116540488456 -  
0.13217628802207251 -0.029462344243977492 -0.13100455101626582  
0.3693051779987086 -0.0080871439626936398 -0.056537834808678203  
0.26482386646897049 0.15434915598701904 0.24604747876309299 -  
0.092263013159111951 -0.20599675311937429 0.17471097899754054  
0.29411129618438042 0.28141899189899544 -0.048605304542853708  
0.15486263903874903 0.13481817422687029 0.070161661292319766  
0.07817780430354454 -0.054838490076334505 0.32599187860115736 -  
0.15827126873707265 0.22200884763240908 -0.34275155333036783  
0.33876293582134615 0.19088841444552412 0.24033633481212222 -  
0.13707203161956999 -0.20409512369188801 0.26196514867343651  
0.13649659327293415 0.029953457557520959 0.17509387427435816 -  
0.20240699333747086 0.12853529719709442;0.12650309591818695 -  
0.029470187799606952 -0.12823641161606281 0.13987405303510159  
0.21939460311639536 0.095397080897433179 0.14141935746286499  
0.22823813297083267 0.2238781785779746 -0.10782390282102133  
0.25161580484821477 0.15649659095367699 -0.071717255275621491  
0.35398289526972981 -0.24118653981353771 0.19776576982143637 -  
0.134108757576893 0.28879507659638376 0.28408623612499506 -  
0.28150541141218721 -0.053674842320406903 -0.003195694991580858 -  
0.10520894093410374 -0.021971954798598162 0.13133970750542209 -  
0.35756038005919299 -0.021704243459868929 -0.33880103372934189  
0.15277580101005767 -0.36636457813243689 0.018697570170966057  
0.24815052376942498 -0.19571961696861367 0.17098988812854682 -  
0.34455312154040457 -0.25646135421801158 0.15200072063482009 -  
0.06402911380337252 -0.097009808088210789 0.22577639138778319;-  
0.34792235600144866 0.28958056378606034 -0.3319135709550961 -  
0.24183905403106362 0.0089106710412215594 0.14922531611598405  
0.028804968395224999 0.1610685023870673 0.22783563137871043 -  
0.0580533446618356 -0.052942569488161804 -0.0073037665353251277 -  
0.17593705324701348 0.18404008743188768 -0.35572593298498073 -

0.12525520435452819 -0.040494721128805561 -0.23749277737770269 -  
0.34178825760559556 -0.24828589010741883 -0.22898738654455339  
0.15952490724661428 -0.12592161673104879 0.13410142967826907  
0.14998358079896773 -0.14219372987879308 0.21640607036620746 -  
0.067792843829566449 0.01536159144270826 -0.24780241430481273 -  
0.0037530492927281235 -0.0015747203342042397 0.062203709921049226  
0.13523853863429905 -0.17450480482487105 -0.11846669396720369  
0.039163635128772113 0.148170322176507 -0.30102215377341751  
0.098921871407522011;0.12283391077373249 0.030161081246737331 -  
0.03399642300583821 0.15661556061195858 0.15819431509812099 -  
0.032469142076510728 -0.00061927561029236078 -0.17544188043683326  
0.13848252479163181 -0.33412202988033435 0.36920132630646502 -  
0.20818490041149015 0.042088042741640158 -0.0038600404968092625 -  
0.23892508252555822 0.078456066724934284 0.0822508702166794 -  
0.18272309590201019 -0.026497216165652232 -0.081111550249272732 -  
0.078044314005078011 -0.16995457353040078 -0.28594737604154369 -  
0.17399537145811608 -0.093256539581035428 -0.30897416622659046 -  
0.20798949433365169 -0.031520149863955418 0.33322364898451223 -  
0.10084664814983198 0.27895607401111483 -0.19339123516498119 -  
0.27148948338950418 -0.31603231724298669 -0.036209693463756576 -  
0.30127418951266166 0.0072065340097276359 0.029643822563610679  
0.032876938852458404 -0.22743344137941909];  
IW1\_2 = [0.075744775792107089 0.24469506737722913 0.042335012629032304 -  
0.31142276997805535 -0.29268187545450186 -0.19007495444740441 -  
0.11552324679713483 -0.10736885478071258 0.037824448455425784  
0.10204324332664386 -0.144756397434117 -0.14071935158103271  
0.13547939583030494 -0.010387356397131125 0.29070916530817686  
0.023086954644600172 0.27045381642665151 -0.24070380163920038 -  
0.12588161444350141 -0.18233180571303909;-0.10133717575627775  
0.098262519230119513 0.13866495811082818 -0.20643753048524324 -  
0.056177170132431231 0.094167105412707827 0.03429511478324436  
0.18704082333072503 0.102921494340034 0.32620123635345244 -  
0.19938109364726994 0.0054083312356660446 0.21201143292231928 -  
0.2359565425166085 0.25787948088212753 -0.25910496214134804  
0.084196066989177601 0.22064153833943725 -0.32459350969179418  
0.26656998526964387;0.20523642630879629 0.13164752982097205  
0.099163762742352668 0.087975303720521272 -0.0018023221486982541 -  
0.18356327240152601 -0.27734583073410274 -0.30337388866024512  
0.24305323611053486 0.20603174056002227 -0.02424651180733918  
0.029323119432221767 0.015623435270304669 -0.26826496799300587  
0.23737760726908388 0.20981743815769852 -0.0034415285761024983  
0.089845176084439746 0.22384989257606441  
0.20013657776181615;0.28460775614464306 -0.11861489570208543 -  
0.1056087468134564 -0.16014390615229107 -0.2051004290339517 -  
0.08967729341255283 -0.19381141362255089 0.25512511963212875 -  
0.037157956294345311 0.19974668419108058 0.23081765969553181  
0.0014757883764660307 -0.34620536402791369 0.22736451685607134 -  
0.21089539890200337 -0.28247384737062164 -0.063990814507150523  
0.079518241960444047 0.19231579020671591 -0.033545395777425033;-  
0.038334708431429165 -0.043290876633118959 0.074349582072983686  
0.12829682412345128 0.12765437791323267 0.032586569730358603 -  
0.22080881229855231 0.0900341743618438 -0.16446616671931411  
0.013783409988515153 -0.023076236158611221 0.18624328678070051  
0.33147955622473879 -0.12481542375841949 -0.1804234889040873 -  
0.35511335509597863 -0.025992833102527521 0.37692096839901978 -  
0.112718073385109081 -0.25574073246126111;0.12831198567013943  
0.0570629867885162 -0.050713475446047027 0.12215347286743067 -

```

0.11698768175262154 -0.16600249465889336 0.13490153387600645 -
0.13750268564823034 0.022234855998955836 0.3087273581333958 -
0.15219446215490318 0.055004595692342631 0.09329940085082182
0.23878212514771963 0.2232109274487433 0.31647634641906403
0.19886208607174766 0.21275596361131127 -0.1311199695335673
0.32578804144928958;0.29411758373951757 -0.038257308826790029
0.15584447453752759 -0.34240564878005914 -0.26574598288628676
0.03115733365544382 -0.2695024736721211 0.2441267458074261
0.096193823084528118 0.036282699528308808 -0.0044575431055972337
0.12773564072240567 0.29322938104695712 0.073231842449708692 -
0.10750493022246868 0.17239219090709873 -0.18371319709954612
0.1320502453283198 -0.2513407565282339 -
0.21657822461746593;0.012467422783157473 -0.057186656189578217 -
0.180183498520367 -0.26929250838692687 0.004462870833829298
0.0020632061925099261 -0.23992120258389096 0.10597816906873549
0.10234566785683706 -0.10841932138165736 -0.32293092174041099 -
0.055593667674362107 0.070700603503496509 -0.26532645084600759 -
0.0033932378216301982 0.1171495937110742 -0.43307369922563688 -
0.12175792310598464 -0.1672110435612558 -0.0012638246189508734;-
0.366900164678717 0.20972522152347511 0.12321994237597332
0.099800248861432364 -0.16723677085522359 -0.037170440840006071 -
0.32099375894848597 0.23780748653081188 -0.016054424559782079
0.19743948056905614 -0.22853829108411347 -0.11717198745264848
0.089669569956705192 -0.28467274705031459 -0.25758686530078001 -
0.084981915457818441 -0.050207711210463565 0.19089875435975723
0.25363103158995631 -0.27078187666308456;-0.27888534111967334 -
0.063994268286164613 0.20498156186380884 0.33596983219414805 -
0.21408152654876433 -0.24803562367908993 -0.07398262729539494
0.20465339708971081 0.043981202176371567 0.27008280199390389
0.30754290815643598 -0.010240358869114341 0.068294742576972475
0.2303900905530617 -0.31636086726595958 -0.21818667375586293
0.24801997278520471 0.12132790553341037 0.18613625873390041
0.0064765392156322758];

```

```

% Layer 2

```

```

b2 = 0.43816477448948549;
LW2_1 = [0.14619585582057074 0.61068606059325348 0.039103373358984506
0.090333672455856912 -0.62610597440110094 0.10130612071683688 -
0.77861909140035113 0.42469904769615263 0.80638306412723604
0.70456852455588193];

```

```

% Output 1

```

```

yl_step1_ymin = -1;
yl_step1_gain = 1.21336501421296e-07;
yl_step1_xoffset = 3148039.1;

```

```

% ===== SIMULATION =====

```

```

% Format Input Arguments

```

```

isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

% Dimensions

```

```

TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)

```

```

        Q = size(X{1},2); % samples/series
    elseif ~isempty(Xi)
        Q = size(Xi{1},2);
    else
        Q = 0;
    end

    % Input 1 Delay States
    Xd1 = cell(1,21);
    for ts=1:20
        Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
    end

    % Input 2 Delay States
    Xd2 = cell(1,21);
    for ts=1:20
        Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
    end

    % Allocate Outputs
    Y = cell(1,TS);

    % Time loop
    for ts=1:TS

        % Rotating delay state position
        xdts = mod(ts+19,21)+1;

        % Input 1
        Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

        % Input 2
        Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

        % Layer 1
        tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20]-1,21)+1});
        tapdelay2 = cat(1,Xd2{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20]-1,21)+1});
        a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

        % Layer 2
        a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

        % Output 1
        Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
    end

    % Final Delay States

```

```

finalxts = TS+(1: 20);
xits = finalxts(finalxts<=20);
xts = finalxts(finalxts>20)-20;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```



## Apéndice N°9:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 1 de la Hipotesis 2:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x15 cell 1, initial 15 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 15 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 22xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x15 cell 1, final 15 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 22xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 2731068.8;
x1_step1_gain = 1.5558831451703e-07;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [1.8146912081183186;-1.7358379923432843;1.4345124453239844;-
1.2123521666372314;-
1.1442776472730989;0.91140979813119694;0.72536833164634584;-
0.66177942319772409;0.53527455729726059;0.33179709473038665;0.05957140330
9464283;-
0.1867738754561985;0.25926629008369684;0.40781662709241667;0.562169601070
06464;0.85270620541166431;-
0.95360531363918066;1.0347256622042302;1.2409355674500191;-
1.4875531769371344;-1.482407403859008;1.6622489840839674];
IW1_1 = [-0.26537070906838878 0.071036977152747066 -0.17632766723980903 -
0.23843493723992945 -0.75413786934364069 -0.36367982153623662 -
```

0.7062125724983499 -0.18756945412270618 0.79217289947696379 -  
0.13051884955161991 -0.42104547702152323 0.27795261766312973  
0.64804801033597792 0.33438703566221695 -  
0.32631717279525196;0.34626382339974615 0.43889495423643704  
0.42569883962596711 -0.59356182146813063 0.33921767495688732  
0.12404815943812179 -0.31498808431200159 0.46774533726877299 -  
0.31006454194253424 0.55912228875202985 -0.029981598815408891  
0.31696652241905915 -0.17511916474754011 0.29498132988360232 -  
0.59510726643749534;-0.49752689273189998 0.51109574496451426  
0.3419836487214849 0.30170345025058415 -0.063000182483047645 -  
0.2967443252987767 0.17357523706378525 -0.12508283658543604  
0.31268453315461253 0.3784219409321013 -0.042992055166307691 -  
0.79109477551099083 0.18746186479419347 0.76687598096076326  
0.78034501401923706;0.31993537231312646 -0.39263350818998594 -  
0.4791918933040431 0.55323275794667237 0.062691734075752181 -  
0.091617335464554223 0.36181715604116871 -0.74781533972194814  
0.6092566902740586 0.58646757845576325 -0.33185197872236272  
0.38645529111071092 -0.63421631088794683 0.25680123154306039 -  
0.17461967761701513;0.28533110490508395 -0.62502683714228291 -  
0.42833304140054174 0.31822187152877213 0.57241039688538475 -  
0.44741237322681576 0.049374041518877587 -0.60494656179550332  
0.19208641742181792 -0.18170601265382519 0.64406311556677776 -  
0.36301850763174925 -0.53631416065937254 0.29071257025385117 -  
0.5268787185635686;-0.34455015678674999 0.47388201083621745  
0.36954861382054238 0.12580957409328311 0.46284533500308145 -  
0.4106366690816709 0.69460832167847608 0.31692002594751617  
0.40904649458063885 -0.04551941435491795 -0.43199291481246321  
0.43384280726718094 0.75443378650982729 -0.37753557630365941  
0.5015639206595035;-0.32628161688625723 0.29582206314073672  
0.074704181232771907 -0.36031083025019212 0.032898021368165338 -  
0.68124583000754546 0.74159501382420978 0.60103207245800938  
0.075383759929887495 -0.57011650899717781 -0.39062983505472432  
0.26893485602673639 0.23285331371634863 -0.61259301079427653  
0.55439695974230185;0.78659487037683484 0.50363838117382997 -  
0.59038337804413099 0.31274802905270699 -0.12649586920607034 -  
0.41091775107558504 0.24320324022357015 0.33564039385143091 -  
0.56957248898053814 -0.43004300779594484 0.4667235084038403 -  
0.51929095115529478 0.046376458303980628 0.18185965906951979  
0.098444130337703911;-0.43017679585608448 -0.080387270093184471  
0.20655575265398085 0.63966187941016717 0.62192238787102694 -  
0.010987843036568835 0.48586962245240617 0.061765014051991113  
0.21617560948343451 0.022130729888673845 0.54272059759716429 -  
0.38609062422590607 0.71635989430357483 0.38367810269365188  
0.77262554955989227;-0.22427042838329753 -0.29176398972979323  
0.71617893022491286 0.72825822284549135 -0.63276935875604934 -  
0.12977035805766143 -0.42072927083978318 -0.25431524272187994 -  
0.35178231854294822 0.57461051427733156 0.039282178086246171  
0.73091066757733003 -0.23238030280161678 0.3923614627185481  
0.39899920963655533;0.3693239556077057 0.53949625087083175  
0.51800272306068207 0.83765436686457773 -0.43886249076952843  
0.62452502005083976 0.65797104743648149 -0.010387394371553102  
0.13521584512874091 -0.0036496420821401504 -0.058822579423861071  
0.58339707899895221 0.391781316365095 -0.45007174522967647  
0.36274685917999083;-0.12001882516476364 -0.21931322969431144  
0.6064330332253256 0.2325946102153546 -0.22057413939996715 -  
0.60416317507615103 -0.7573891282004892 0.18376528836907882  
0.59356140608118013 -0.19694447737556925 -0.40095987950340484

0.39646166983292203 -0.69677423370863134 0.48093500760486163 -  
0.30547472769968215;0.24534215708217244 0.11012402017403967  
0.66003746360428739 0.32990034542020896 0.26652763827575471 -  
0.65523189952706173 0.40354385518119201 0.54626059080026623 -  
0.65962550799846797 -0.59093500919332309 0.48898762170865195 -  
0.20379116418011084 -0.73319480384803015 0.056937056639656147  
0.1875945055653922;0.65015389233250731 -0.46560109830006274  
0.10892768405435219 0.34100262186716984 0.0906818723673736  
0.5583875150868286 -0.08025493640684174 0.67230289043255531  
0.64180680050544614 0.59743741411877094 0.56879554629218998  
0.24232314934137425 0.50121890831077642 0.088767143994975373 -  
0.033054910514721786;0.275674140239212 0.75662782824748032  
0.33788368099351346 -0.33330802625953593 0.19257019586913199  
0.65156800562232786 -0.79057169160812746 0.34708714918032207  
0.57732469186446367 -0.26507137187346541 -0.08384228828947346 -  
0.11799981935415797 0.6187970010431888 0.21506934790162804  
0.13171609890967412;0.39897139185125408 0.13607218273366192  
0.63996459877119372 0.29872311711621402 -0.20720310697494115 -  
0.34142884371823018 -0.43307810365066063 0.0088354320121882372 -  
0.57641677936536362 0.4072891915729368 0.44235869993660293  
0.34781117753862573 0.80731749134483677 0.34680123430523307  
0.33582299925130266;-0.3397364966625448 -0.61695001449077302  
0.2925514094441739 0.54949665684170734 -0.48620925992386721 -  
0.14110574836147532 0.0053065382816706932 -0.072894241876540478  
0.45518050525092674 0.87771873781762699 0.06320722903604635  
0.24641498577456888 0.54915170409210157 -0.80056781458577653 -  
0.13342969423181461;0.52023400766402228 0.018899737321959289 -  
0.4816901887094569 -0.65194771577762223 -0.35101926435899922  
0.032518713111075653 0.56443114629212221 -0.21678057016416014 -  
0.32686022285345306 -0.17806088449767998 -0.58324619799544375  
0.58216196758287408 -0.53787558482060827 0.62534233528312655 -  
0.31363769875684994;0.51867900790351673 -0.41119298268323257 -  
0.57323663753816168 -0.28729910583738449 -0.6544586212359248  
0.20809176999361095 0.23870150133156648 -0.010674385677203229 -  
0.78283789714613961 -0.37654943660271267 -0.15320154292907612  
0.017571317020428249 -0.57567001666631401 -0.73622692742112961 -  
0.22928208668825417;-0.6528467369158063 0.67575206460378445 -  
0.3599138941749474 -0.37401398252592433 0.44678277299943214  
0.11704139589037786 0.66137897296414283 0.3347625711945732 -  
0.29262158972004571 0.1261071947651215 -0.24709265630066635 -  
0.23720478116244004 0.46454056457746296 -0.39284540448098504 -  
0.25779773237457082;-0.35064565928400349 0.70301257907632819  
0.58707443224457512 -0.73409633820669506 0.72628814826404287  
0.037974052194337291 0.42939483565973074 0.5411742749383488  
0.2681425628664455 0.080218294782859453 -0.3230844799990798 -  
0.5716588884350815 0.079338285192601318 -0.049491938051553164 -  
0.37516631705396919;0.028246259432710238 0.11548968268393964 -  
1.0336840587543266 -0.12656566601921115 0.35613460471611391  
0.88835613709743133 -0.23658143186854499 0.42700441683556262 -  
0.3175312220599365 0.045383494617411681 -0.063395567944430048 -  
0.11566720914884189 0.56179486783618371 0.61829251098149218 -  
0.11460527835793412];

% Layer 2

b2 = 0.083685415436620392;

LW2\_1 = [-0.73824651164580102 -0.23453358982248268 0.65324265502323131

0.21352623267498033 -0.69808446325964901 0.20552320957947154 -

```

0.35918958870708501 0.32170570173417856 0.69395119165389574 -
0.59752148865330157 0.77466250051752339 0.47688671839587565 -
0.86143844310712459 -0.30946487234323611 -0.21391458832842009
0.78649489544766527 0.63059919788334784 0.10470457702561406
0.49639697431510915 -0.63504970850624987 0.52175611671920896 -
1.0048703261515455];

% Output 1
yl_step1_ymin = -1;
yl_step1_gain = 1.55558831451703e-07;
yl_step1_xoffset = 2731068.8;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,16);
for ts=1:15
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},xl_step1_gain,xl_step1_xoffset,xl_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+14,16)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},xl_step1_gain,xl_step1_xoffset,xl_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15]-
1,16)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2

```

```

a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1:15);
xits = finalxts(finalxts<=15);
xts = finalxts(finalxts>15)-15;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°10:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 2 de la Hipotesis 2:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x12 cell 1, initial 12 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 12 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 15xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x12 cell 1, final 12 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 15xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 3148039.1;
x1_step1_gain = 1.24954889722874e-07;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-
1.6676486063921954;1.5534819761498682;1.0995033886218719;0.90280129814959
698;-
0.84201568534067239;0.46436720731112013;0.10039050013474686;0.08367786192
9373348;0.48304441704556789;0.47634832458313181;0.87540290462102155;0.955
7274594873213;-1.2885982615737113;-1.5627288028464774;-
1.731102052674278];
IW1_1 = [0.68557479475814775 0.26039605709770791 -0.13652143206487705
0.10116536094598916 -0.39923381285144105 -0.75240359981478444 -
0.69671378732294309 0.48031608172861112 0.76053956961754188
0.76846880426941855 -0.6731050882232591 -0.18197190082141362;-
```

0.26667473641349365 0.41272356576196073 0.50270508027680005  
0.058970821458649701 -0.19233562973951226 0.63609399660566845 -  
0.28651759596626009 -0.75117892447371748 0.63233129190388604 -  
0.5137989355822451 0.77262531435902837 0.4425566888264697;-  
0.80191995224234625 -0.8103062400727421 0.38230994265985047  
0.28769212610084849 0.44552887003790997 0.54741134978088712 -  
0.52252599042617465 0.17431611046489598 0.81853925576939723  
0.61667955138751418 -0.49059253301184158 0.19002789448933127;-  
0.55983764595805441 -0.46311283914631002 -0.56950982282151319 -  
0.69703569282243671 0.091137946545867113 -0.12469212245860757 -  
0.69627174133368019 0.076617507208714838 0.33377895847322031 -  
0.48386934499747136 0.49788204712566192  
0.77288853340179353;0.24020059785241152 0.18015259737467776  
0.24946413525947847 0.50236209518475239 -0.16696950225897325 -  
0.51111374264757059 -0.63438012928156573 -1.0141256986676348  
0.40046598195795868 -0.68923011163103132 0.11892053064655199 -  
0.48175071934637198;-0.47826920343598034 0.40003673986505578 -  
0.37287256972154026 0.89350968453268043 0.76268506392286306 -  
0.35350061487483148 0.25841846317956185 0.032446178083262701  
0.11689360502514987 0.60155567285339995 0.7999417359076626 -  
0.11217666068843793;-0.012824698213497064 -0.40814677885577516  
0.13354628646395866 -0.19111037559036301 0.45761101093384765  
0.33301132169038411 0.19706840715299304 -0.62537805764266408  
0.95335093787634062 0.73436541203975658 -0.87961242392872396 -  
0.21691272817398913;0.19285628839311739 -0.4875921615984205  
0.4052563809907675 -0.0015706994989473293 -0.16237834072034249 -  
0.84096302051656502 -1.0942530612132086 0.62148097728324658  
0.039765831089103344 0.38788930088985679 0.59423423128013098 -  
0.26924343269196943;0.88033490412231852 -0.49683201647589054 -  
0.069812948916844003 0.99750927940265566 0.096458652077113002 -  
0.19024629555721936 -0.11515994602540082 -0.22930300344283061 -  
0.09713795925677135 0.62252366132730574 -0.70193348259753863  
0.66642928947705893;0.40442642188054923 -0.097137639296525011 -  
0.19302831876206605 0.20573661469376725 0.61140057680858184  
0.75919908647841727 -0.055072106697475171 0.52132426845429003  
0.80229579239500892 -0.79601191842503005 -0.12878063947495602  
0.58733528403060264;0.54389534704043241 -0.30380172256568783 -  
0.19329564459954771 0.54597727409410779 0.74760665855793407 -  
0.16198311803457588 -0.10343719593796978 0.475465413256355  
0.9813635980091725 -0.2678604142971685 0.45094980610383828  
0.49438223920098551;-0.010797242033502047 -0.27767371695474558  
0.41103089388078373 0.21631516073996365 0.71532227702145024 -  
0.3715450649202221 -0.93324359295320658 -0.34958474714865861 -  
0.15244556198625708 0.49469691416174494 -0.022545795982053793  
0.96091060483434654;-0.652186300160979 -0.47108626787231145  
0.58615113247070727 -0.75540884424174559 -0.026002219989492575  
0.26192884596309673 0.25117668723158165 0.094833986552822616 -  
0.83337010657049537 0.48459353175030645 0.80900827950891041 -  
0.27727506144120423;-1.004937205190336 0.40920822010593949 -  
0.6033966512366532 -0.35568040024559611 0.1780129050911867 -  
0.73286692627143446 -0.072290934427159115 0.71085266208492215  
0.31270870208255247 0.28422754350270224 -0.13173022744737073 -  
0.44159819274949874;-0.38380550741572106 -0.37437962171575639  
0.1234968810699674 0.47460689053146726 -0.31383182413225053  
0.75546443145416742 0.792672320715895 -0.077198920791361772  
0.53168713492002062 -0.85821093873366094 0.76906842857848579 -  
0.33593989808161773];

```

% Layer 2
b2 = -0.2635772801853869;
LW2_1 = [-0.64849673887764248 -0.18312865217976862 -0.65971760040687921
0.0047038426721278219 0.00019940577965361916 -0.45574413839996564
0.30809931136515667 0.29507303741446916 0.48222637331464113
0.25865297440437068 0.40200039480230843 -0.35919512527073494 -
0.73186661850673085 0.45081452666955368 -0.52116617554460376];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 1.24954889722874e-07;
y1_step1_xoffset = 3148039.1;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,13);
for ts=1:12
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+11,13)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12]-
1,13)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

```



```

% Layer 2
a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 12);
xits = finalxts(finalxts<=12);
xits = finalxts(finalxts>12)-12;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xits)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

0.22687229209214554 0.15467534701892738 -0.35384557045132992 -  
0.2007866081638699 -0.3957073421495414 0.35226596084761591 -  
0.36331514904261125 -0.1318162293379935 0.38581113262613237 -  
0.4003559606855398 -0.41557557736464051 -0.43697189849170115 -  
0.11292910588803641 0.20094312362686984 -  
0.43972838504280043;0.44318277899812464 -0.034452175622409577  
0.29696655615078582 -0.011448815552457286 -0.055022549261140488 -  
0.095456392245175006 -0.043337842472397373 -0.35628272577147824  
0.031047979859337119 0.46952748994162252 -0.18585122887971844  
0.1018058776012041 -0.44441921025547643 0.061008114394118691 -  
0.42075389961468174 -0.038506958918739342 -0.21530228568106252  
0.26820973244909413 0.44834514135859738 0.71784500310708266  
0.1948049530316423 -0.61596066779730396 0.3639132678351229  
0.098825241649961454;0.092675643185261405 -0.16790727628888402  
0.63119019612972083 -0.2501606086032041 -0.079460565325210619  
0.51474036313765836 0.36175798299365425 -0.34086738615793327  
0.33316463481871089 -0.142797492096776 -0.4993877280325445  
0.48354959517694418 0.25631662002735589 0.11824248941108366  
0.34233544998417936 -0.20212588726124503 0.62071305883041095 -  
0.38810997574537515 0.30977032521066766 -0.50043761783145513  
0.19697773316440981 0.098683375091958681 0.35935231011070518 -  
0.1013231034472469;0.081096278043653588 0.39505009601163432 -  
0.026404304163730182 0.3597534132337683 -0.31990123570890061 -  
0.16710230727640049 0.089097749650865893 0.44251511945375499  
0.20737218653580944 -0.38130125946892568 0.28650021741632814 -  
0.50977444102791736 -0.36380702266112097 -0.069574240745886903  
0.20950037302748717 0.067023102198455628 0.190703775827407  
0.24928928962667479 0.25175757177084568 0.30784419477935776  
0.44880912157396663 -0.55308951673669393 0.10796741717515033 -  
0.34413078416324983;-0.10484526777690278 0.34962899266004377 -  
0.22684503926992802 -0.396288311821623 -0.50278782897155927 -  
0.14627765542475513 0.44661087747485029 -0.018945707129450734 -  
0.038921325826060803 0.19460587737665994 0.55771965277807578  
0.45978800593572566 -0.36632993252681079 -0.38989475178678801  
0.070429414585879271 0.18579714462635297 -0.52563906940249061 -  
0.091284439939026282 0.20376230294852829 -0.22132359692260686 -  
0.27001353254662924 -0.010761368979532083 0.21736303433550949  
0.45151433171264244;-0.28456141762497345 -0.0057679561571230605 -  
0.35032813296104126 0.60439197022665347 -0.32031817953182873 -  
0.46426325174635685 0.036043160323388661 -0.21872629064279742 -  
0.10980499818496492 0.068124622191489251 0.056289145169180835 -  
0.55399789180121151 0.023824572797068073 -0.33042188664150512 -  
0.20699564159846942 0.60197693203506719 0.17569070991446534 -  
0.27066625144707468 -0.48803100949847339 -0.060843207808728809 -  
0.11608632433444251 0.33981821164457215 0.034599052502823191 -  
0.64897133966365761;-0.45305825153292706 -0.14723904350550393  
0.34292350534807625 0.041592806265682535 -0.50194340032031903 -  
0.42785667858093795 0.15485305762349552 -0.34161799924782027  
0.31203992787037471 -0.36714911753258478 0.12450586520397411  
0.037250351328356107 0.024642675831941751 -0.025735943023051794  
0.30358005323803494 0.29973904006325103 -0.48526667577131088 -  
0.50052410626286892 -0.54695995993112423 -0.17334014653502988 -  
0.23597049684181198 0.12001554562519481 -0.51380995616163516  
0.14311232581381966;0.18642054544493047 -0.073268502626386525 -  
0.081763865285156848 -0.55374222961700847 -0.22479555125911838  
0.13637451859537186 -0.43559674239979645 -0.27803312006766168 -  
0.57741900398471091 0.13617811804879226 0.39305011747495983 -

0.40012591176055778 0.33087863699955317 0.50662228712501323  
0.043274623581419647 0.27555751758782449 0.36146378737439877  
0.30398887787475465 -0.3050108644475151 -0.22169217644153558  
0.019233101166107866 -0.43197677077567231 0.38834429077575477 -  
0.056666552786341237;-0.12106209812668346 0.39165306260582661 -  
0.51300343911604385 -0.50238170708837493 -0.26949904219136245  
0.49525461884082927 -0.070923061213096494 0.0040729481779051037  
0.25690625536111389 0.31026174500639025 -0.067803880032268851  
0.028088843884823904 0.16761781397169565 -0.43807742011725792  
0.0020523983807332283 -0.48125164379201257 0.16483545489064566  
0.44105010167357905 0.073972278945463918 0.40880830746852242  
0.2941836702924927 -0.23677782411087547 0.48319039866277419  
0.36552621875430152;0.38846540539257679 -0.43619004210541967  
0.4573217930008534 -0.43206509593719816 0.41636592781870407  
0.38230452979727148 -0.45524058821800711 -0.31022932295702749 -  
0.3861444461337622 -0.1096907575390086 0.21713319686649263 -  
0.17127953704996943 -0.062220465157909702 0.076498476859368877 -  
0.0038511928475311614 -0.091081531656317272 -0.43967908541151646 -  
0.38640660686611639 0.42089522571563764 0.26177615254057457  
0.30077500055148776 -0.21997697596751273 -0.32627354930894925  
0.39061304949834452;0.17459610547319426 -0.34441831136096762 -  
0.46668784724370038 0.19067911627701503 -0.32526482321060735  
0.10557787848586375 0.24212335979747973 -0.47498658447166187  
0.28574463462915706 -0.5148342334959396 -0.32979945746944883 -  
0.47844642884300209 0.30023504171474624 -0.32827922009652211  
0.0071322953762685513 -0.12962317240361618 -0.23533423737974751 -  
0.25231750826967736 -0.47312076594601254 -0.20741833609425972  
0.12422854954579643 -0.11631732185571193 0.45880747338842998  
0.420638675861699133;0.49705117872809829 -0.026684662707430432  
0.24599944233875595 0.15043079528202374 -0.15382267453579168 -  
0.16619734941991399 0.39734970742461867 -0.50511180651551724  
0.40810305723762041 -0.048574543240191233 -0.24719174485903833 -  
0.21058444000887017 -0.091057416753695414 0.5774659338944762 -  
0.3763198915658561 0.29924147907059773 0.19288661279553243  
0.3003299867208043 -0.3479318010468907 0.1987864445878392 -  
0.033892720097729617 0.52857919026552114 0.089988172178122175  
0.56502239326994785;-0.27283163684335565 -0.27388963009289558 -  
0.20266032321569732 -0.029773408683726091 -0.25907812188438556  
0.05595044756672448 0.2482605409328969 -0.72240186088799274 -  
0.13639862421649512 -0.61155728606622817 -0.48787384028563963 -  
0.10541836786186108 0.42050821346895056 -0.24195929586300996 -  
0.0011882640406094096 0.52460110503410629 0.0011207266627349423 -  
0.14779539945141595 -0.14117383698876365 0.47303070253386242  
0.5532527418859986 -0.0038197226284434772 -0.32889701371107383 -  
0.54567021497585833;-0.022139671067595651 -0.57398484298072738  
0.021870786275099228 -0.47329474448007164 0.29673204310291085  
0.34105335765430311 0.45504767970465815 0.21817670749901696  
0.17179366414613736 0.18869224028002959 -0.30581350486589254 -  
0.37918097963627451 -0.43764851200346805 0.20339414815356444 -  
0.25243640632331305 0.0023043096116929958 0.34847885302934395 -  
0.11991006986669354 -0.51344086437051073 0.20787937406708396 -  
0.10819040174368971 0.36589838676978359 0.45364848893647686 -  
0.17095838554853121;-0.58075555642386478 -0.067851052318790045 -  
0.36536105786529793 -0.0056336081375057134 0.1180879771937885 -  
0.53216300269304184 0.0023919754563750742 -0.081397937345573962  
0.26180246311630584 -0.18451754157596256 0.10496755378214358 -  
0.11176219951999872 0.082001750715190821 -0.51882997329059699

```

0.34309622833446329 0.47664401161136233 0.59084629115056442
0.016195056690262995 0.067440630059719411 0.46434800014845506 -
0.21260077418014711 -0.055137053958229432 -0.32728535823870719
0.4559892038395868;-0.47434172293052274 0.2063363457057642 -
0.34970091218161781 0.52566381643736404 -0.26413240411704114
0.20253917793831766 -0.21088069556213085 0.027909472192923855
0.21179795277454566 -0.30055036465232166 0.37326015139740809 -
0.46436483244220994 -0.30724439442983537 0.066529638342686659 -
0.25065034661149166 -0.24822522609426062 0.52486344515400729
0.015823915331154709 -0.028462848421921157 0.14454001219295998 -
0.45262765796203869 -0.24846581785939301 0.54898829760813961 -
0.22239733623108421;0.41823130344872539 0.49255106793497616 -
0.29816032343774662 -0.47140549251469138 -0.26542976644435928 -
0.20267382626481925 0.082756761804965245 0.44662471687192989
0.23423863972825368 -0.3094788478923024 -0.29544475761760502
0.10447640046978186 -0.3768293711426195 0.29849355202368233 -
0.41053358649824012 0.24879399553970763 0.038240919390579324
0.27513510093457627 0.28131375736832109 -0.42166029937412508
0.1090703670216005 0.36355528745295279 0.41221237386488074
0.063538734540839539;-0.60833768917869724 -0.14246582406156788 -
0.47339305004420995 -0.40046386506884901 -0.31927127219642043 -
0.40971242387963253 0.61803820599668835 0.30566721624648008 -
0.10124913847513012 0.04300588133047975 -0.41711680399417705 -
0.35462136354629992 0.34206968467993681 0.14315168176691723 -
0.18124003649021697 0.1310081888407213 -0.34819559896503771
0.48068624114091468 0.29847866756592967 -0.154326376245146
0.35952450121518287 -0.24630960447239203 -0.047115860773105853 -
0.33319917807980987];

```

```
% Layer 2
```

```

b2 = 0.42802313145188808;
LW2_1 = [0.63106932903118251 0.67210575349209012 -0.50486353566597697
0.029216677503441695 0.19796702417397966 -0.4165576734716554 -
0.28061977520613091 0.3863121235866469 0.23541033574776007
0.26167352421045087 -0.050217186450375151 0.57075685217605687 -
0.55381958345294036 0.34287622304408893 -0.2136720840515311
0.1270004173619797 0.42859304740513043 0.74134814953241501];

```

```
% Output 1
```

```

y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 1.55558831451703e-07;
y1_step1_xoffset = 2731068.8;

```

```
% ===== SIMULATION =====
```

```
% Format Input Arguments
```

```

isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```
% Dimensions
```

```

TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);

```

```

else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,25);
for ts=1:24
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+23,25)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1(mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24]-1,25)+1));
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 24);
xits = finalxts(finalxts<=24);
xits = finalxts(finalxts>24)-24;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xits)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);

```

## Apéndice N°12:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo Entrada-Salida no Lineal - Caso 2 de la Hipotesis 2:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x24 cell 1, initial 24 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 24 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 18xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x24 cell 1, final 24 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1,ts} = 18xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2,ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 15890000;
x1_step1_gain = 2.90275761973875e-07;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [1.5451762202016199;-
1.3915130861469709;1.3185196894276738;1.0637955681437246;-
0.82877663001322366;-0.55877260636983628;-
0.39058006768547099;0.32030913064999927;-0.077052561416642018;-
0.14555715789655774;0.20082160312188829;-0.39101957266823634;-
0.69284543970019929;0.77196667397044982;1.175127006791532;-
1.236135092033156;-1.3488375634507692;1.5602119379245054];
IW1_1 = [-0.15547090900239566 -0.044267621917392357 -0.094909949830335169
-0.17988024610586764 0.19728130830411192 -0.53028978271815386
0.13316139889712869 0.49739607479120063 0.6035756822477365
```

0.19596903171427837 -0.31120121467471912 -0.15390466580193718  
0.31339224525908271 -0.19575941884911738 -0.45241211425743189  
0.074539594214035498 -0.33837015148409527 -0.35732040088327333 -  
0.35884158247283349 -0.42613266513547932 0.085641638846021967 -  
0.062123306866285088 0.54033291490527224  
0.49383590979462205;0.16405336825007497 0.44170664623076433 -  
0.2811861531774103 -0.26587161741589249 -0.026475440191146126 -  
0.43388353922497158 0.40031230184543359 -0.59797042071641282 -  
0.39545104754993904 0.52617870323668925 -0.069190916025033813 -  
0.1286155384724832 0.26238061661481443 -0.1225223367770953 -  
0.40535318961634609 -0.025604441135574613 0.12014806065200696  
0.2507721309965556 -0.29959918613527159 -0.041601191479613948  
0.36117606534355823 0.22107757782371229 -0.53610651925862429  
0.27477202005984291;-0.042601844355885529 0.29652196805799713  
0.35669255973541203 -0.16858123218139734 -0.15406467739818211  
0.26581263674635391 0.049213421838899922 0.01516881327874336  
0.48845991397591687 -0.46382787452916663 -0.21705216500874019  
0.25127239790565586 -0.17787667213220287 0.15976437087855191  
0.61947466377721749 0.12662030124092108 0.19336123708367497 -  
0.20747177959872201 -0.45290809539279708 -0.12314830734165375  
0.22264982742006179 -0.33673475009306303 0.55979768696314336  
0.5495213764187824;-0.22322887370135161 -0.23343871325335983 -  
0.25247241410089055 0.19726643760209847 -0.47472879092710046 -  
0.0046114285659465109 0.47689203574483757 0.14937079100482839  
0.4564353542911761 0.24570817706151152 0.25647482123346854 -  
0.34234451189003962 0.141479604652366 0.02683332441732798  
0.057215472198979385 0.39053573400525354 0.04875727539695205 -  
0.34475086985588493 0.13384876161747769 -0.43943986714054534 -  
0.29516145978477537 0.24813448906142976 0.54995077293765948 -  
0.50252184372389896;0.44467381607812234 -0.072431444847523632 -  
0.018487692698196615 -0.26310062682969088 0.4402340817858697  
0.56026708607527553 0.28410550691851344 0.29941096741161866 -  
0.21449142084999739 -0.02302493160844166 -0.26374777407528938  
0.35768467193855807 0.23002690284736976 0.21539206329262878  
0.017221038405185483 0.45886634127670634 -0.52757052153110684  
0.1779592303533486 0.23559117882885786 0.20729240096265383 -  
0.60460585085937812 -0.085862604860184669 -0.4562067968976144 -  
0.094136589206029422;0.082019188108672439 0.5069040097130445 -  
0.034344605966973592 0.25032325644242365 -0.31075271957217715 -  
0.50975087736662439 -0.0038100668997793257 -0.45879206938962319  
0.49270423216272313 -0.022100035175008949 -0.10654005884428469 -  
0.33940684363506363 0.16371655460748863 -0.098204038565225499 -  
0.38902456049605877 0.33926344907864353 0.37301350166910169  
0.0021757477053479428 -0.16633950578094736 -0.48897275197131157 -  
0.43024862130394176 0.26239297429378522 0.4499023507187529 -  
0.47542088048246067;0.1359916405741261 0.31502394816099405 -  
0.37746670788768655 0.16055255714093172 0.126951763113376  
0.30359979931092312 -0.49961877039896024 0.29639051820857532  
0.47562036596175411 0.024924805452670919 0.14662455874595809  
0.42012366549972885 -0.18525069350421194 0.38583967765580218 -  
0.075758337456759778 -0.39939466433430798 0.44611432033627774 -  
0.14019649829994429 0.21561768957594257 0.38074593775237131  
0.33415754300554695 0.57415752931261632 -0.18234330569498228  
0.31666789561161363;-0.42078220078164436 0.11082183332724579  
0.35483725338386268 0.023632474195192113 0.32343288561185024  
0.49501427685665295 0.34281994337487987 0.18969739515388842 -  
0.081210161020997151 -0.49801593600274485 0.24256029155589645 -

0.12418772303241613 0.11894523827371356 -0.34808645798544546 -  
0.54086986120859404 -0.11453271817022131 -0.30315661231767022 -  
0.52419024602121478 0.14438250698969385 0.27628191513392802  
0.43355117975459045 -0.21397355140859181 0.10140256907520345  
0.49710886671158083;0.28506182180886536 0.45701741531350898  
0.42364673149450238 -0.3849205643395201 -0.15137000352030572  
0.27319465193224168 -0.16069057682200868 0.33619544291300857  
0.44215528558997869 0.219937101230752 -0.27489558817172127 -  
0.26192656865250308 -0.39024697468091007 -0.28818536496047309 -  
0.43811953630512462 -0.14814228599878967 -0.13658528495008923  
0.24682040309906164 0.095506389484344797 0.41270634069588485 -  
0.34181084022837438 0.07623438880921822 -0.34261613413353548  
0.47818881947859448;-0.37972325455472522 0.21764620567932152  
0.28066963088199159 -0.19721689232088271 -0.12751477656621588  
0.23030329160464746 -0.20723802673924757 -0.12039911575321602 -  
0.031273400118646218 0.45379059633477442 0.50851497163532711  
0.33757339361041216 0.057639137847124808 -0.50835950021495735 -  
0.51510024587838565 -0.37500356890230846 0.07687539210500266  
0.50945529440117243 -0.18159325442742108 0.31523573314320025  
0.4124193423002594 -0.44323749590767964 -0.20761289265996646  
0.31069235300956255;0.27997063243425419 0.045319394230605117  
0.19249915375664994 0.10906495883242333 0.14593420272892385 -  
0.38860378667161888 -0.34301844710700108 0.37198559653650448  
0.10139755856152588 0.034488060183570486 0.059386148888043999 -  
0.51974122107254228 -0.1538137841323183 0.64031198129694344 -  
0.33227005085201189 0.20524404413228992 -0.59489602691983334  
0.52027129535937866 0.25714948418429173 0.37694542173691126 -  
0.45012898738333951 -0.49608889931484684 -0.40102293990189886 -  
0.15589389077536395;-0.365131172955316 0.26341294931503717  
0.066882641138405169 -0.26171894343960184 -0.33504218806432473 -  
0.022147483596647879 -0.14287607145997377 -0.362672910792048 -  
0.51059552489549231 0.52032086451687565 0.38786173489462494  
0.17216429523965915 -0.11951994723573837 0.22934599298645808  
0.445206311073507 -0.40304710261834731 -0.042172427479825005 -  
0.45351563182478316 0.37235820610834508 -0.023646570007508728  
0.32050619634574695 0.070972361903247197 -0.059343514163085434 -  
0.014230254981285021;-0.32486205763914422 0.19954868655742491  
0.15728508769433905 -0.066520141597613186 0.39172818643028195  
0.57666851782648187 -0.024832332874695179 0.21050998839395643 -  
0.35972928060244147 0.36029600931019934 0.19284607778914076  
0.49914924397989102 -0.55789316005983547 0.070927317336457324  
0.10309778279208508 0.14083493852732187 -0.22681543652891992  
0.30510240023945434 0.05215022615448274 -0.27508124432109171 -  
0.51243372769765805 -0.54914732604184813 0.13706650105879076  
0.053601506758626266;0.40871451976705853 -0.066144233056998833 -  
0.21744991959936066 -0.69087158347929212 0.50396256271799666 -  
0.48180454515900217 0.23379046607564699 0.21150145849895852 -  
0.14365445775474042 0.14181031003137798 0.42790580719337307  
0.028163041659229875 -0.61030245040560105 0.15479523396043551  
0.051726475903540479 -0.52588635066332701 -0.36276817280396217 -  
0.14118375989316673 -0.30205147949976568 -0.3954800126084656  
0.034177341946023169 0.38803028123450028 -0.24340447531794165  
0.35637516744905468;0.28724024015465793 0.099110339141882414  
0.525272011580418276 0.48398587864962606 0.0068007433687931676  
0.27281468622968469 0.42135234894580426 -0.48585215028921613  
0.41859948131020019 -0.31977077184683073 -0.025544333011133128 -  
0.26132995241528606 0.028395298464485155 -0.081179048482783497



```

0.04282126017252081 0.42546042458391853 -0.23772042976477056 -
0.4459658257357878 -0.22010343352364301 0.14339590735801153 -
0.011726322795514341 0.40348952188110349 0.24420042137122683
0.015058271745652892;-0.47317206955574109 -0.17823970370454756
0.39613362589989992 -0.34346110206766378 -0.51071168143071244 -
0.015656371384790476 0.25317522884504934 -0.052711680218672605
0.1528599488237562 -0.2989864962508707 -0.45161929838096149
0.53676105101294813 -0.076482827056529284 0.26209021561230772 -
0.31698920012784831 -0.25239749533192002 0.30377663419078288 -
0.17107603673306396 0.047743425537138194 0.44261509623361306 -
0.24402133470561377 -0.56116956362371695 -0.11893516546148207 -
0.24421799158037816;-0.36467177896303798 -0.059113222509824086 -
0.25524684718699281 0.25473439351689225 -0.17991083305434025 -
0.20557198027391629 -0.44589064898116232 -0.18683851892047129
0.51637569536954975 0.57141464091924599 0.011719205061256677 -
0.51082521861461738 0.35209235832204228 -0.19219504176424798
0.24806815257038323 -0.47790950303285212 -0.11590015076502048 -
0.49255746293818159 0.11186910442629323 -0.28882781204159991 -
0.53418603929108122 -0.22128769048033028 -0.02552237063414408
0.10547065848470201;0.33348610134139373 0.35156274431519813 -
0.36916362263262259 0.28966367381613539 0.19861874695912862
0.31681794082127124 0.17882196151955981 -0.061468576700546368 -
0.31269975524475552 -0.17557991779635626 0.46853753952082233
0.43320718968479577 -0.11784719510607465 -0.26469801076450966
0.44182349686607647 -0.47722332124007527 -0.42236359485413894
0.33030999089427343 0.12597287565201973 -0.44812673678475479 -
0.24234376455751191 -0.38064914783342396 0.21474351283680873 -
0.40236848123019048];

```

```
% Layer 2
```

```

b2 = 0.02037303801819848;
LW2_1 = [0.58832411492249992 0.058252691413745485 -0.73879047213177063
0.03351592078932903 0.28680469303973116 -0.55954090496645881 -
0.39341930247530571 -0.23211331625226519 0.32709928414758194
0.38467556573706713 0.69729865649640566 -0.35368004982007595 -
0.19667871056141745 0.66096136110051029 0.64212832363376227
0.69216565736727498 -0.39322323722279484 0.18383380884758113];

```

```
% Output 1
```

```

y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 1.24954889722874e-07;
y1_step1_xoffset = 3148039.1;

```

```
% ===== SIMULATION =====
```

```
% Format Input Arguments
```

```

isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```
% Dimensions
```

```

TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);

```

```

else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,25);
for ts=1:24
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+23,25)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22 23 24]-1,25)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 24);
xits = finalxts(finalxts<=24);
xts = finalxts(finalxts>24)-24;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);

```

```
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);  
end
```

```
% Sigmoid Symmetric Transfer Function  
function a = tansig_apply(n)  
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;  
end
```

```
% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function  
function x =  
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)  
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);  
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);  
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);  
end
```

## Apéndice N°13:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 1 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
% Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
% Xi = 2x2 cell 2, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
% Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 2x2 cell 2, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
% Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1,ts} = 1xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2,ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [5080;61.92];
x1_step1_gain = [0.000134989200863931;0.0104624398409709];
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 7348;
x2_step1_gain = 0.00015938795027096;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = 0.74352398191254077;
IW1_1 = [0.87574643226283022 1.2308287914017941 0.25549752189564306
1.9782986483504637];
```

```

IW1_2 = [-0.73931650895423129 -1.9230308808120398];

% Layer 2
b2 = -0.4453406177951218;
LW2_1 = 1.3377370053521966;

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.00015938795027096;
y1_step1_xoffset = 7348;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Input 2 Delay States
Xd2 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

```

```

    % Input 2
    Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    tapdelay2 = cat(1,Xd2{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°14:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NARX - Caso 2 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 2xTS cell, 2 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep ts.
% Each X{2,ts} = 1xQ matrix, input #2 at timestep ts.
%
% Xi = 2x1 cell 2, initial 1 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 2xQ matrix, initial states for input #1.
% Each Xi{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #2.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 1 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 2 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 2x1 cell 2, final 1 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 2xQ matrix, final states for input #1.
% Each Xf{2,ts} = 1xQ matrix, final states for input #2.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 1xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = [6760;62.61];
x1_step1_gain = [0.000180131495992074;0.00997755051134946];
x1_step1_ymin = -1;

% Input 2
x2_step1_xoffset = 6083;
x2_step1_gain = 0.000173385348938015;
x2_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = -0.06993616291141988;
IW1_1 = [-6.7558870056717684 -7.4368637547606502];
IW1_2 = 2.1144373715347933;
```

```

% Layer 2
b2 = -0.1519903398508014;
LW2_1 = -0.84754737782153355;

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000173385348938015;
y1_step1_xoffset = 6083;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,2);
for ts=1:1
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Input 2 Delay States
Xd2 = cell(1,2);
for ts=1:1
    Xd2{ts} =
mapminmax_apply(Xi{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+0,2)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Input 2
```



```

    Xd2{xdts} =
mapminmax_apply(X{2,ts},x2_step1_gain,x2_step1_xoffset,x2_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1(mod(xdts-1-1,2)+1));
    tapdelay2 = cat(1,Xd2(mod(xdts-1-1,2)+1));
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1 +
IW1_2*tapdelay2);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1:1);
xits = finalxts(finalxts<=1);
xts = finalxts(finalxts>1)-1;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°15:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 1 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x4 cell 1, initial 4 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 4 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 6xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
%
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x4 cell 1, final 4 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 6xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 5080;
x1_step1_gain = 0.000134989200863931;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-2.1202041168506329;1.5071110241772929;-
0.52124912844837601;1.0792824978631184;0.56906387712726181;2.338237931103
4844];
IW1_1 = [1.3845325774410404 -0.87278901060014713 -1.2756352077383226
0.82980220725849352;-1.8203411945585852 -2.0358876691378871
1.0543752682497556 0.84458098455882624;1.5173177512046205
0.80049721304123589 0.90484830094126623 -
1.2446316055279238;0.79471261222123035 0.72748528899160281
1.2531171227046467 -1.1310843784273099;0.047601769316948789
2.3260549545397655 1.0359943620556784
```

```

0.15697286056306736;0.82397999161329549 -1.415029719651645 -
1.2668492437912433 -0.977212396403767];

% Layer 2
b2 = 0.74676705006760646;
IW2_1 = [-0.18977331562606173 -1.0663854738218224 -0.26732227465428815
0.7313360676710261 -0.9143253075473925 -0.90489552118376615];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000134989200863931;
y1_step1_xoffset = 5080;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,5);
for ts=1:4
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+3,5)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4]-1,5)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2

```

```

a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y(1,ts) =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 4);
xits = finalxts(finalxts<=4);
xts = finalxts(finalxts>4)-4;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°16:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo NAR - Caso 2 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x4 cell 1, initial 4 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 4 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 6xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
%
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x4 cell 1, final 4 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 6xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 6083;
x1_step1_gain = 0.000169779286926995;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-
2.1078243078242203;2.0300249403593797;0.56246486977812382;0.4436128196305
3717;1.5313343197549605;1.956422364438561];
IW1_1 = [0.755742830910348 1.417135197349999 1.9206109516701013
0.54024055756663092;-0.51701994254991968 -1.4242653547733286 -
0.46561830695321615 -0.61123044288973527;-1.0016208812928762 -
1.0608174893915119 1.5481377224716495
0.88827008324159062;1.1680524176099916 -0.32987070881051017 -
1.687289847142138 -0.60213578854045979;0.9571682496536017 -
0.79111397496989277 2.0125823788118251 -
```

```

0.56543564459952944;0.8608313978152895 0.90014010746128503 -
1.1099431603415266 1.8348344385058264];

% Layer 2
b2 = 0.44050780825048919;
LW2_1 = [0.63271031919750831 0.054207503121442069 -0.64077298092274737
0.3465245942631815 0.96076775419999394 -0.8767262804520165];

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000169779286926995;
y1_step1_xoffset = 6083;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,5);
for ts=1:4
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+3,5)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2 3 4]-1,5)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2

```

```

a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

% Output 1
Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 4);
xits = finalxts(finalxts<=4);
xts = finalxts(finalxts>4)-4;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°17:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo Entrada-Salida no Lineal - Caso 1 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 4xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 4xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 61.92;
x1_step1_gain = 0.0104624398409709;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [4.1824996628798257;-0.85177184554677199;-
0.33961649305376296;2.9390733389654828];
IW1_1 = [0.37956665886628788 2.7062848309304615;1.6171460257123047 -
2.3043035585918732;-2.9204402380470174
0.33300641508406964;1.4343348537491294 -2.4456213796729216];

% Layer 2
b2 = -0.063899380903141817;
LW2_1 = [0.23379430412390401 0.2715842635192634 -0.84865407545927685
0.059240319934008079];
```



```

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.00015938795027096;
y1_step1_xoffset = 7348;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

```

```

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```

## Apéndice N°18:

### Función MATLAB de la simulación del Modelo Entrada-Salida no Lineal - Caso 2 de la Hipotesis 3:

```
function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~)
%MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
%
% Generated by Neural Network Toolbox function genFunction.
%
% [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,Xi,~) takes these arguments:
%
% X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
% Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep ts.
%
% Xi = 1x2 cell 1, initial 2 input delay states.
% Each Xi{1,ts} = 1xQ matrix, initial states for input #1.
%
% Ai = 2x0 cell 2, initial 2 layer delay states.
% Each Ai{1,ts} = 4xQ matrix, initial states for layer #1.
% Each Ai{2,ts} = 1xQ matrix, initial states for layer #2.
%
% and returns:
% Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
% Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
%
% Xf = 1x2 cell 1, final 2 input delay states.
% Each Xf{1,ts} = 1xQ matrix, final states for input #1.
%
% Af = 2x0 cell 2, final 0 layer delay states.
% Each Af{1ts} = 4xQ matrix, final states for layer #1.
% Each Af{2ts} = 1xQ matrix, final states for layer #2.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is the number of
timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1_xoffset = 62.61;
x1_step1_gain = 0.00997755051134946;
x1_step1_ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [2.2493945309086008;0.96438767080615206;-0.021021960978914567;-
4.5926757070597475];
IW1_1 = [-3.369198896968336 -0.43069562891659618;-0.61551162955736172 -
3.0047164622884734;-2.8924027748858321 0.72820118592953453;-
0.82905667355520463 -1.4659806443923187];

% Layer 2
b2 = 0.28153343093614791;
LW2_1 = [0.50336923510510845 -0.11410031275011209 -1.0648478573360045
0.52528723600816041];
```

```

% Output 1
y1_step1_ymin = -1;
y1_step1_gain = 0.000173385348938015;
y1_step1_xoffset = 6083;

% ===== SIMULATION =====

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX, X = {X}; end;
if (nargin < 2), error('Initial input states Xi argument needed.');
```

```

end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
    Q = size(X{1},2); % samples/series
elseif ~isempty(Xi)
    Q = size(Xi{1},2);
else
    Q = 0;
end

% Input 1 Delay States
Xd1 = cell(1,3);
for ts=1:2
    Xd1{ts} =
mapminmax_apply(Xi{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Rotating delay state position
    xdts = mod(ts+1,3)+1;

    % Input 1
    Xd1{xdts} =
mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1_gain,x1_step1_xoffset,x1_step1_ymin);

    % Layer 1
    tapdelay1 = cat(1,Xd1{mod(xdts-[1 2]-1,3)+1});
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*tapdelay1);

    % Layer 2
    a2 = repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1;

    % Output 1
    Y{1,ts} =
mapminmax_reverse(a2,y1_step1_gain,y1_step1_xoffset,y1_step1_ymin);
end

```

```

% Final Delay States
finalxts = TS+(1: 2);
xits = finalxts(finalxts<=2);
xts = finalxts(finalxts>2)-2;
Xf = [Xi(:,xits) X(:,xts)];
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX, Y = cell2mat(Y); end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS =====

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y =
mapminmax_apply(x,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
y = bsxfun(@minus,x,settings_xoffset);
y = bsxfun(@times,y,settings_gain);
y = bsxfun(@plus,y,settings_ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing Function
function x =
mapminmax_reverse(y,settings_gain,settings_xoffset,settings_ymin)
x = bsxfun(@minus,y,settings_ymin);
x = bsxfun(@rdivide,x,settings_gain);
x = bsxfun(@plus,x,settings_xoffset);
end

```