

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN MODELO COMPUTACIONAL  
MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA  
PREDECIR CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA,  
PERÚ 2022”**

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

**AUTOR: ANTENOR LEVA APAZA**

**ASESOR: DR. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2023**

**PERÚ**



## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

### **TÍTULO**

Diseño de un modelo computacional mediante redes neuronales artificiales para predecir consumos de energía eléctrica, Perú 2022

### **AUTOR**

Antenor Leva Apaza

CODIGO ORCID: 0000-0002-0973-0240

DNI: 25003844

### **ASESOR**

Santiago Linder Rubiños Jimenez

CODIGO ORCID: 0000-0003-0095-6988

DNI: 43324583

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** Universidad Nacional del Callao

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Base de datos

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Aplicada

**ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN:** Cuantitativo

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** Experimental

**TEMA OCDE:** Ingeniería y tecnología

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

### MIEMBROS DEL JURADO

<b>Dr.</b>	<b>: JACOB ASTOCONDOR VILLAR</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Dr.</b>	<b>: ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Dr.</b>	<b>: CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJIA</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Dr.</b>	<b>: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ</b>	<b>ASESOR</b>

**N° DE ACTA** : **05-2023**

**N° DE LIBRO** : **01**














**FOLIO** : **130**

**FECHA DE APROBACIÓN** : **11/08/2023**

## Document Information

Analyzed document	TESIS -LEVA APAZA ANTENOR.docx (D160678908)
Submitted	3/10/2023 6:19:00 PM
Submitted by	
Submitter email	alevaa@unac.edu.pe
Similarity	8%
Analysis address	free.posgrado.unac@analysis.urlund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.iit.comillas.edu/publicacion/tesis/en/10183/The_rural_electrification_planning_pro...">https://www.iit.comillas.edu/publicacion/tesis/en/10183/The_rural_electrification_planning_pro...</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 5
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/15434/4/be2101-art06.pdf">https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/15434/4/be2101-art06.pdf</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 2
<b>W</b>	URL: <a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3527">http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3527</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 3
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54569">https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54569</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 4
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3921">http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3921</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2511">https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2511</a> Fetched: 3/10/2023 6:22:00 PM	 1
<b>SA</b>	6039-Gonzales Calienes, Giovanna Salome[OCR].pdf Document 6039-Gonzales Calienes, Giovanna Salome[OCR].pdf (D33815105)	 5
<b>W</b>	URL: <a href="https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/Anuario/Anuario2019.pdf">https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/Anuario/Anuario2019.pdf</a> Fetched: 3/10/2023 6:21:00 PM	 5
<b>SA</b>	Tesis Ferrn Rafael Cabezas Soldevilla.docx Document Tesis Ferrn Rafael Cabezas Soldevilla.docx (D100940453)	 1
<b>SA</b>	11174-Marca Romari, Marco Antonio.pdf Document 11174-Marca Romari, Marco Antonio.pdf (D40762874)	 2
<b>SA</b>	Tesis - Luis Alberto Navarro Garcia.pdf Document Tesis - Luis Alberto Navarro Garcia.pdf (D43689489)	 2
<b>SA</b>	REDES NEURONALES ARTIFICIALES (1).docx Document REDES NEURONALES ARTIFICIALES (1).docx (D109532249)	 1
<b>SA</b>	LIBRO-RNAV2-Capitulo-1 (1).docx Document LIBRO-RNAV2-Capitulo-1 (1).docx (D29522863)	 3

## **DEDICATORIA**

A Dios por iluminar mi vida, “Gracias por su infinito amor y misericordia”

A mi familia, mis padres, a mis hermanos, quienes son mi motivo y apoyo para seguir adelante.

A los colegas de la FIEE que tienen una ardua misión de guiar vidas para crear un futuro con excelencia y superioridad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos infinitamente a Dios por darnos la vida y la fuerza espiritual que nos impulsa para realizar este trabajo de investigación con esfuerzo y perseverancia.

A los docentes de la FIEE UNAC, por su colaboración y apoyo.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema. ....	16
Problema General.....	16
Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos.....	16
Objetivos generales .....	16
Objetivos específicos .....	17
1.4. Justificación .....	17
1.4.1. Justificación Legal .....	17
1.4.2. Justificación teórica .....	17



1.4.3. Justificación tecnológica.....	17
1.4.4. Justificación económica .....	17
1.4.5. Justificación social .....	18
1.4.6. Justificación práctica .....	18
1.4.7. Justificación científica.....	18
1.4.8. Justificación relacionada con la magnitud .....	18
1.4.9. Justificación relacionada con la trascendencia .....	18
1.4.10. Justificación relacionada a la vulnerabilidad .....	19
1.4.11. Justificación por su metodología .....	19
1.5. Delimitantes de la investigación.....	19
1.5.1. Delimitante teórica .....	19
1.5.2. Delimitante temporal .....	19
1.5.3. Delimitante espacial .....	20
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes: Internacional y nacional.....	21
Antecedentes internacionales .....	21
Antecedentes nacionales .....	23
2.2. Bases teóricas .....	27
2.3. Bases Conceptuales .....	78

2.4.	Definición de términos básicos: .....	78
<b>III.</b>	<b>HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>80</b>
3.1.	Hipótesis.....	80
	Hipótesis General .....	80
	Hipótesis Específicas.....	80
3.1.1.	Operacionalización de variables.....	80
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>83</b>
4.1.	Diseño metodológico .....	83
	Tipo de la Investigación .....	83
	Diseño de la Investigación .....	83
4.2.	Método de investigación. ....	84
4.3.	Población y muestra. ....	84
	Población.....	84
	Muestra.....	84
4.4.	Lugar de estudio. ....	85
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	85
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	85
4.7.	Aspectos éticos en investigación .....	86
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>

5.1.	Resultados descriptivos .....	87
5.2.	Resultados inferenciales .....	89
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	102
	Hipótesis Específicas.....	102
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	102
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>110</b>
	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	111
	ANEXO 2: PROGRAMACIÓN EN MATLAB .....	112
	ANEXO 3: PROGRAMA PARA ENTRENAMIENTO DE LA RED .....	118
	ANEXO 4. PROGRAMA DEL ARCHIVO PREDICCIÓN .....	120
	ANEXO 5: CÓDIGO DE LA FUNCIÓN NEURALTRAIN.M .....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de electricidad: el alternador .....	32
Figura 2. Turbinas hidráulicas .....	33
Figura 3. Turbina a vapor .....	33
Figura 4. Generación eléctrica y corriente alterna .....	35
Figura 5. Esquema de la generación hidráulica de embalse .....	36
Figura 6. Esquema de la generación térmica a diésel y/o derivados .....	36
Figura 7. Esquema de la Generación Termosolar .....	39
Figura 8. Resistencia de los materiales .....	40
Figura 9. Efecto Joule en la transmisión eléctrica .....	41
Figura 10. Minimización de las pérdidas de energía en la transmisión eléctrica .....	42
Figura 11. Línea de transmisión de 220 kV, Mantaro – Cotaruse.....	43
Figura 12. Subestaciones de transformación de Tumbes y Lambayeque .....	44
Figura 13. Torres de transmisión según el material de construcción .....	45
Figura 14. Torres de transmisión según la función que ejerce .....	45
Figura 15. Anchos mínimos de faja de servidumbres .....	46
Figura 16. Faja de servidumbre para una línea de 220 kV .....	46
Figura 17. El vano económico.....	47
Figura 18. Sistema de distribución radial, la línea verde es el inicio del proceso .....	48
Figura 19. Sistema de distribución en anillo .....	48
Figura 20. Sistema de distribución enmallado.....	49
Figura 21. Sistema de distribución primaria y secundaria .....	49

Figura 22. Medidor trifásico electromecánico .....	52
Figura 23. Actividades desarrolladas en el sector eléctrico .....	53
Figura 24. Economías y deseconomías de escala .....	54
Figura 25. Economías de escala y estructura de mercado .....	55
Figura 26. Densidad del sistema de distribución .....	61
Figura 27. Producción eléctrica según tipo de fuente de energía .....	63
Figura 28. Despacho de generación para el día de máxima demanda de cada mes.....	64
Figura 29. Reserva y margen de reserva .....	65
Figura 30. Máxima demanda y factor de carga .....	65
Figura 31. Costo marginal y precio regulado ponderados .....	66
Figura 32. Agentes que participan en el mercado libre de electricidad.....	66
Figura 33. Precio medio del mercado libre por tipo de empresa .....	70
Figura 34. Unidad Procesadora Básica del Perceptrón.....	71
Figura 35. Red Perceptrón de dos Capas .....	72
Figura 36. Separabilidad Lineal .....	73
Figura 37. Red Adaline .....	74
Figura 38. Fase de Propagación hacia Adelante.....	76
Figura 39. Cálculo de los valores de la Capa $\delta_j$ de Salida.....	77
Figura 40. Modelo lógico del sistema .....	87
Figura 41. Programa ejecutado en Matlab .....	88
Figura 42. Aplicativo para la predicción del consumo de energía eléctrica.....	88
- Figura 43. Zona de procesos del sistema .....	89
Figura 44 Testeo de la data cargada .....	89

Figura 45 Testeo de la data cargada .....	93
Figura 46 Diagrama del algoritmo de entrenamiento de la RNA .....	95
Figura 47 Diagrama de flujo 2 del Proceso de Predicción .....	97
Figura 48 Error de Propagación de Entrenamiento de la RNA .....	98
Figura 49 Datos históricos y datos después de entrenar .....	99
Figura 50 Datos Históricos y de Proyección .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Turbinas .....	34
Tabla 2: Tipos de generación.....	37
Tabla 3: Clasificación de las torres de transmisión .....	44
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de los medidores eléctricos.....	51
Tabla 5. Clasificación de las Reservas en el Perú .....	56
Tabla 6. Empresas de Generación Eléctrica .....	56
Tabla 7. Empresas distribuidoras que además generan electricidad.....	58
Tabla 8: Empresas de transmisión eléctrica.....	60
Tabla 9. Empresas de distribución eléctrica.....	62
Tabla 10. Empresas generadoras que participan en el mercado libre .....	67
<b>Tabla 11:</b> Empresas de distribución .....	68
Tabla 12. Número de clientes libre.....	69
Tabla 13. Número de clientes libre.....	69
Tabla 14. Ventas de energía (GWh) .....	70
Tabla 15. Variables, dimensiones e indicadores .....	82
Tabla 16. Valores medidos sobre población de sector Lima .....	90
Tabla 17. Valores medidos sobre población de sector Lima .....	91
Tabla 18. División de datos para entrenamiento y prueba .....	94
Tabla 19. Resumen de la Arquitectura de la Red Neuronal .....	101

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Energía eléctrica .....	30
Ecuación 2. Potencial eléctrico .....	30
Ecuación 3. Cantidad demanda de energía diaria.....	31
Ecuación 4. Factor de carga .....	31
Ecuación 5. Factor de capacidad ociosa.....	31
Ecuación 6. Efecto Joule.....	40
Ecuación 7. Densidad de corriente eléctrica .....	41
Ecuación 8. Resistencia eléctrica.....	41



## RESUMEN

La presente investigación en modalidad informe final de tesis, tiene como propósito abordar el consumo energético eléctrico por parte de los usuarios finales y el problema existente para realizar un correcto control y predicción del consumo eléctrico. Para ello, se muestra la creación de un sistema basado en redes neuronales para la predicción del consumo eléctrico. Se realizó la programación de la lógica del programa diseñado en el programa Matlab, en el cual por medio de un aplicativo se fue precargando bases de datos obtenidas de los consumos históricos a lo largo de los años, con ello se logró un entrenamiento de la red. Se realizó una comparativa entre los valores calculados y los valores reales para comparar el consumo eléctrico, ello resultó en una eficiencia obtenida por parte del sistema con un valor alto, siendo los valores de consumo muy semejantes a un histórico comparativo respecto a bases de datos obtenidas.

Palabras clave. - sistema, redes neuronales, energía eléctrica, consumo, predicción

## **ABSTRACT**

The purpose of this research in final thesis report mode, is to address the electrical energy consumption by end users and the existing problem to perform a correct control and prediction of electricity consumption. For this purpose, the creation of a system based on neural networks for the prediction of electricity consumption is shown. The programming of the logic of the program designed in the Matlab program was carried out, in which, by means of an application, databases obtained from historical consumption over the years were preloaded, thus training the network was achieved. A comparison was made between the calculated values and the real values to compare the electrical consumption, resulting in an efficiency obtained by the system with a high value, being the consumption values very similar to a historical comparison with respect to the databases obtained.

Key words. - system, neural networks, electrical energy, consumption, prediction.

## RESUMO

A presente investigação na modalidade de relatório final de tese tem como objetivo abordar o consumo de energia elétrica por parte dos usuários finais e o problema existente para realizar um correto controle e previsão do consumo de energia elétrica. Para isso, mostra-se a criação de um sistema baseado em redes neurais para a previsão do consumo elétrico. Ele realizou a programação da lógica do programa projetado no programa Matlab, em qualquer meio de um aplicativo que foi pré-carregado com bases de dados obtidas dos consumos históricos ao longo dos anos, com ele se logrou um treinamento na rede. Se você realizou uma comparação entre os valores calculados e os valores reais para comparar o consumo elétrico, o resultado foi uma eficiência obtida por parte do sistema com um valor alto, sendo os valores de consumo muito semelhantes a um comparativo histórico em relação às bases de dados obtidos.

Palavras chave. - sistema, redes neurais, energia elétrica, consumo, previsão

## INTRODUCCIÓN

El poder controlar y predecir el consumo de energía eléctrica es un tema fundamental, para prevenir y adecuar el diseño de nuevas fuentes de generación de energía eléctrica, podemos indicar que el consumo de la energía eléctrica no es constante y depende de la hora, los meses de año, las diferentes estaciones del año, entre otras. Cada una de ellas presentan ciertas características relacionadas con la necesidad de poder utilizar ciertos equipos que tienden a variar el consumo de energía, por ejemplo, en los meses de verano, el consumo de energía está caracterizado por el uso constante de equipos ventiladores, equipos de refrigeración y aire acondicionado, en los meses de invierno, el consumo de energía eléctrica está caracterizado por la utilización de calefactores, termas entre otros equipos, propios de cada estación.

Con la presente tesis se propone, diseñar e implementar una aplicación basado en algoritmos que utilicen redes neuronales, para el proceso de predicción del consumo de energía eléctrica aplicado a los distritos de la Ciudad de Lima, para lo cual se utilizará los datos históricos del consumo de energía eléctrica de los principales distritos de la ciudad de Lima. Obtenido de las empresas que se encargan de la generación y transmisión de la energía eléctrica como Luz del Sur, Edelnor y ENEL, con lo cual se implementará un algoritmo que tenga las capacidades de aprender sobre el comportamiento referente al consumo de energía eléctrica; la estructura para poder predecir el consumo está relacionado a los datos que se pueda obtener, los cuales consisten en el consumo de energía en Mega Watts, y a su vez evaluado en los diferentes meses del año, para la etapa de validación, se recurrirá a medir el rendimiento del algoritmo mediante los indicadores de sensibilidad y especificidad.

El aplicativo se implementará usando la herramienta computacional MATLAB, donde se implementará los algoritmos usando redes neuronales y una interfaz gráfica de usuario para poder interactuar con el aplicativo, con la finalidad de poder demostrar los diferentes procesos de entrenamiento y validación, así como

el uso y aplicación, para poder predecir el consumo de energía en un determinado momento, para un determinado distrito de la ciudad de Lima.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La energía es considerada un tema estratégico y primordial a nivel nacional, el poder contar con energía eléctrica, permite el desarrollo del país, en todos los niveles, en la industria, la generación de puestos de trabajo, temas educativos, económica y toda actividad comercial que emplea como insumo la energía eléctrica, también es importante para generar bienestar a los habitantes de un país, por ello de su importancia y es uno de los factores a considerar en la presente tesis.

La problemática que se presenta en la presente tesis, es la falta de conocimiento de la cantidad de energía que se requiere para los próximos años, teniendo como información inicial los mecanismos para la generación de energía eléctrica y la cantidad de clientes organizados por departamentos. Por medio de una búsqueda de información, se encontraron los datos estadísticos que demuestran que cada año aumenta el número de clientes por departamentos, lo cual genera una proyección de trabajo en la generación de mayor energía, con nuevos centros de generación o aumentar la capacidad de ellos.

Según los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el sector de energía eléctrica se muestra que, las principales fuentes, como, hidráulica, térmica, eólica y solar produjeron 56 967,1 GWh al año 2019 y poseen el siguiente orden de prioridad e importancia: la energía hidráulica realizó una producción de 31 473,9 GWh, la térmica con 23 084,0 GWh, la eólica con 1 647.4 GWh y la solar con 761.8 GWh.

Uno de los factores que influyen en la generación de la energía eléctrica, es la cantidad de clientes presentados en la demanda, para lo cual, según el registro del INEI hasta el año 2019, indica que el departamento de Lima, es el principal cliente con 2 652 039 clientes, seguidos por los departamentos de la Libertad, Piura y Arequipa, que son los departamentos con mayor cantidad de clientes, siendo Madre de Dios, Tumbes, Amazonas y Huancavelica, como los

departamentos con menor número de clientes. Asimismo, indica que, en el departamento de Lima, en el año 2017 se registró 2 516 966 clientes, para el año 2018 se registró 2 574 904 y para el 2019 se registró 2 652 039; siguiendo una tendencia al crecimiento, indicando que cada año, aumenta el número de clientes en los departamentos, lo cual es necesario conocer cuál será la cantidad de energía que se requiere en los próximos años [1] .

## **1.2. Formulación del problema.**

### **Problema General**

- **PG:** ¿Será posible generar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo acerca del consumo de energía eléctrica?

### **Problemas específicos**

- **PE1:** ¿Será posible diseñar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para el análisis predictivo acerca del consumo de energía eléctrica en Mega Watts?
- **PE2:** ¿Será posible predecir mediante un algoritmo computacional en base a redes neuronales, el consumo de energía eléctrica por año y por mes?

## **1.3. Objetivos**

### **Objetivos generales**

- **OG:** Generar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica.

## **Objetivos específicos**

- **OE1:** Diseñar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en Mega Watts.
- **OE2:** Realizar un mecanismo de predicción mediante un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para predecir el consumo de energía por año y por mes.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Justificación Legal**

La justificación legal está caracterizada por el manejo de los datos de forma responsable, se puede indicar que en la presente tesis se considera información presente en los registros estadísticos en las fuentes de primer orden. No se trabajó información personal.

#### **1.4.2. Justificación teórica**

La justificación teórica, hace uso de la revisión de la bibliografía, donde se identifican las variables objeto de estudio, conforme a la bibliografía especializada sobre el consumo de energía eléctrica y redes neuronales.

#### **1.4.3. Justificación tecnológica**

El tema del presente informe final de tesis, emplea mecanismos computacionales para el análisis de datos, con lo cual, se pudo predecir el consumo de energía eléctrica, por lo que se utilizará el lenguaje de programación Matlab.

#### **1.4.4. Justificación económica**

La justificación económica, consta de la utilización de recursos propios del tesista, y los detalles del costo están representados en el presupuesto de la tesis.



#### **1.4.5. Justificación social**

La justificación social está representada por la necesidad de poder contar con información para la generación de energía eléctrica y así poder tomar mejores decisiones en el proceso de ofrecer energía eléctrica a toda la población.

#### **1.4.6. Justificación práctica**

La justificación práctica está caracterizada por el manejo de la información a través de archivos en formato CSV, así como el manejo del lenguaje de programación Matlab, en base al diseño de funciones para cada una de las tareas.

#### **1.4.7. Justificación científica**

La justificación científica, consiste en la revisión de la literatura relacionada con el uso y aplicaciones de los algoritmos basados en redes neuronales, para poder proponer uno que nos permita predecir el consumo de energía eléctrica.

#### **1.4.8. Justificación relacionada con la magnitud**

La magnitud es una unidad escalar, que permite la medición de un fenómeno o evento físico, para nuestro caso como el fenómeno a ser analizado corresponde a la energía eléctrica, para nuestro caso particular la unidad a trabajar será los KWH Kilo Watts Hora, que comúnmente es utilizado para poder realizar el cálculo del consumo y requerimiento de energía eléctrica.

#### **1.4.9. Justificación relacionada con la trascendencia**

La justificación relacionada con la trascendencia, está relacionada con la importancia de la investigación, debido a la propuesta de la tesis que se intenta implementar un modelo de poder predecir el consumo de la energía eléctrica que se requiere en el país, para analizar el consumo requerido con la necesidad tanto de la población como del sector producción.

#### **1.4.10. Justificación relacionada a la vulnerabilidad**

La justificación relacionada con la vulnerabilidad, está representada por la metodología técnica a desarrollar, en el caso de la presente tesis, se implementará una arquitectura de red neuronal, que tendrá como insumo necesario los datos de consumos de otras ciudades, por esta característica de los datos a ser utilizados representa un tema vulnerable para la presente tesis.

#### **1.4.11. Justificación por su metodología**

La justificación relacionada con la metodología, está representada por el tipo de investigación pre experimental, debido a que se analizará en un primer momento como está el consumo de energía en los principales distritos de Lima Metropolitana, en un segundo momento se realizará una simulación del consumo, para finalmente realizar una comparación entre ambos resultados mediante métodos estadísticos.

### **1.5. Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1. Delimitante teórica**

El marco teórico en el presente plan de tesis, está basado en la búsqueda de literatura actualizada, referente a los temas de consumo de energía eléctrica y sobre el uso y aplicaciones de la red neuronal, en tal sentido podemos identificar la limitación teórica en base a la bibliografía indicada en el marco teórico.

#### **1.5.2. Delimitante temporal**

En la presente tesis, constituye un aspecto importante en la presente tesis, por ser una investigación de tipo transversal se recogerá el consumo de la energía eléctrica de los principales distritos de Lima Metropolitana, medido por los reportes de generación eléctrica de las empresas que suministran energía eléctrica a Lima Metropolitana, a efectos de poder analizar los datos necesarios para poder diseñar la red neuronal se considera como datos necesarios la cantidad de horas y habitantes que tiene cada distrito, para los años 2010 al 2020.

### **1.5.3. Delimitante espacial**

caracterizado por las áreas de cobertura de la presente tesis, en la cual para efectos de poder analizar los datos que serán necesarios para la etapa de entrenamiento de la red neuronal, se tomarán los datos del consumo eléctrico de los departamentos y las principales ciudades del Perú, correspondientes a los años 2015 al 2020, que se encuentren disponibles en el Ministerio de Energía y Minas, empresas generadoras de energía eléctrica y datos estadísticos proporcionando por el INEI.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes: Internacional y nacional**

#### **Antecedentes internacionales**

Según los autores Vaca Serrano y Kido Cruz en su artículo científico, realizaron un análisis multisectorial acerca del consumo de energía eléctrica en México, la intensidad y eficiencia del consumo también se tomó en cuenta acerca de la emisión de contaminantes según el tipo de tecnología de generación de electricidad con el fin de proponer una estrategia de mejora. Se encontraron 19 subsectores claves, siendo que, la mayor intensidad en el consumo se encuentra en los subsectores de suministro de agua y gas por ductos, fabricación de productos a base de materiales no metálicos y fabricación de insumos textiles y acabados de textiles, con mayor emisión de CO<sub>2</sub> en tecnologías de ciclo combinado, termoeléctrica convencional y carboeléctrica con una emisión de 122.7 Mt de CO<sub>2</sub>; las energías limpias emiten 2.7 Mt de CO<sub>2</sub>, de donde podemos concluir de los 19 sectores, 14 son del sector industrial y 5 del sector servicio [2].

En ese sentido en el artículo de Ladeuth , López y Socarrás se realizó un diagnóstico con el fin de crear conciencia acerca del consumo de energía eléctrica al interior de la Universidad de La Guajira, por lo cual se usó las facturas de energía del año 2015, 2016 y primer periodo del 2017, también se tomó en cuenta el inventario de equipos electrónicos y los procesos tanto estratégicos, misionales de apoyo y evaluación, para lo cual se ha desarrollado una investigación de tipo descriptivo con diseño no experimental con un sistema de mejora continua, en donde se pudo determinar que el consumo elevado fue causado por el uso irresponsable de equipos y maquinarias por lo que se concluye que es necesario implementar programas y modelos de seguimiento y monitoreo [3].

En el orden de las ideas anteriores, en tesis de Pedro Ciller para obtener el título de doctor en el 2021, se consideró que el acceso universal a la energía como el mayor desafío ya que la energía es un factor empoderante el cual influye en el

desarrollo de diversos campos como educación y sanidad con un plazo de 30 años para cumplir con lo planteado ya que se tiene 840 millones de personas no tienen acceso a electricidad para lo cual se establece una agenda de electrificación sobre una región subdesarrollada teniendo en cuenta los factores sociopolíticos considerando la hipótesis sólidas, un análisis riguroso y datos precisos se tomó en cuenta los modelos computacionales con los cuales se puede identificar el menor costo con el fin de satisfacer el acceso a la electricidad deseado en áreas de gran tamaño, haciendo un cálculo automatizado sobre los diseños con los cuales se pueden optimizar la distribución de recursos dedicados al acceso universal a la electricidad por lo cual nos enfocamos en el Modelo de Electrificación de Referencia (REM, por sus siglas en inglés), con el cual se determina la electrificación de menor costo para cada consumidor también se evaluó dos algoritmos de clustering uno para los consumidores en mini-redes y el otro para ser electrificados con extensiones de red, ambos algoritmos han dado resultados óptimos [4].

Con referencia a lo anterior de los autores Martínez Casares, Vázquez Martínez, & Matea Rosa, en donde se realizó un estudio del coste de electricidad en las empresas españolas los cuales serán comparados con los gastos en bienes y servicios de nuestras teniendo en cuenta acerca del tamaño y sector de actividades usando el ratio de gastos acerca de la electricidad sobre los gastos de bienes y servicios los cuales van aumentando a medida que disminuye el tamaño de las empresas al mismo tiempo el ratio de gasto en electricidad cuenta con cifras superiores en las microempresas, los precios de la electricidad están relacionado con la relevancia del componente de costes regulados que se abonan a través de las denominadas «tarifas de acceso» para los consumidores medianos y grandes de la economía [5].

En el trabajo de tesis de maestría de Edgar Ulloa, el objetivo fue evaluar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica en la ciudad e cuenta, en base a concientizar el consumo de energía con énfasis en poder migrar a diversos equipos de uso común que consuman menos energía, como es caso de migrar

el uso de focos incandescentes hacia focos ahorradores, entre otros, el público objetivo fueron clientes de zonas residenciales, los resultados obtenidos demuestran que el consumo promedio de un hogar es de 317KWh, con el uso eficiente de la energía y siguiendo las recomendaciones el consumo bajo en promedio a 224KWh, con lo cual se disminuye el pago mensual por el consumo de energía, así como la reducción de la emisión de dióxido de carbono al ambiente [6].

Para el conocimiento de la demanda del consumo de energía, el cual es uno de los factores críticos para poder diseñar estrategias para proveer energía eléctrica a las ciudades, presentamos en trabajo de tesis de Rodrigo Gutiérrez, donde el objetivo fue evaluar el comportamiento de las variables que inciden directa como indirecta sobre el consumo de energía eléctrica, se estudiaron por separado diferentes servicios de acuerdo al uso de la energía eléctrica, como el uso residencial, general, alumbrado público, grandes demandas como industrial, finalmente se estimó la demanda eléctrica necesario para cada tipo tarifario descrito, teniendo en cuenta sus características particulares [7].

En el camino por encontrar un modelo que describa el consumo energético eléctrico, se encontró la tesis de Julio Peña y Alex Trujillo, donde se realizó un proceso de monitorización y análisis del consumo energético eléctrico de viviendas del sector residencial de la Ciudad de Riobamba, el monitoreo se realizó a las viviendas usando el equipo Energy Genius, que registra datos del consumo eléctrico individual en tiempo real, los resultados demuestran que mediante la formulación de pautas relacionados con el ahorro de energía, se logró reducir el consumo eléctrico de una vivienda de 283KWh a 251KWh, lo que representa un ahorro del 11.3%, obteniendo beneficio económico y menos contaminación [8].

### **Antecedentes nacionales**

Según Cuisano, Chirinos y Barrantes, en su artículo titulado eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de

alimentos, sobre la Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica, para lo cual se usa el algoritmo con el cual se va a simular y se podrá estimar el ahorro sobre los costos de consumo eléctrico de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) acerca del sector de alimentos y su confiabilidad verificada dentro de una empresa, para lo cual se ha implementado una metodología con una normativa peruana con la cual se determinara los cargos a cada uno de las tarifas eléctricas con el fin de ser aplicadas a cualquier MIPYME en baja y media tensión, de esta metodología se simulo a los escenarios del cambio de tarifa y del factor calificador en 3 MYPIMES con los cuales se han considerado la calificación del usuario de presente en hora punta (HP) y fuera de hora punta (FHP), de donde se obtuvo resultados de forma satisfactoria de la simulación, de donde se concluye se realizó la identificación del ahorro energético en las MIPYMES, se adaptados el procedimiento para realizado la simulación y estimación sobre el ahorro del consumo de energía eléctrica, permitiendo comparar los costos de las horas punta con las de fuera hora puntas logrando reprogramar las operaciones con las cuales disminuir el impacto de los cargos de facturación durante la hora punta [9].

En la tesis de María Cabrejos para obtener el título de doctor en el año 2020 se realizó un estudio y revisión documentaria acerca de los suministros eléctricos a nivel Latinoamericano en donde se pudo comprobar una transformación acerca de los procesos comerciales de las empresas eléctricas de sistemas de prepago, en el Perú se implementa una normativa de sistema prepago la cual establece acerca de la disminución de los costos asociados, por lo que se tuvo como objetivo implementar una propuesta del sistema prepago con el fin de optimizar servicio del suministro de energía eléctrica de Electronoroeste S.A. Región Piura, en el CPM Casagrande, esta análisis fue de tipo descriptivo-exploratorio mediante el enfoque cuantitativo y con un diseño no experimental, con un instrumento aplicado como el cuestionario que fue aplicado a 200 clientes, de donde se obtuvo resultados como la Cobertura de suministro eléctrico el 79% bueno, 10% muy bueno y regular 10%; Eficiencia del servicio el 59.5% muy bueno, 45.5% bueno, por lo que se concluye se verifico una viabilidad acerca de

la propuesta causando un impacto socioeconómico el cual va a ser beneficioso para el cliente minimizando sus costos tarifarios, intereses moratorios, reclamos y morosidad y adquirir eficiencia energética en el uso, consumo, control y ahorro de energía eléctrica [10].

En el orden de las ideas anteriores en la tesis doctoral de Adán Tejada, en donde se analiza acerca de la Prospectiva de la Demanda Energética Nacional Del 2017 al 2040, en donde se considera el crecimiento de las personas de los últimos 30 años por lo que se ha considerado que para el 2040 se tendrán aproximadamente 60 millones de personas y un 90% será en zonas rurales y alto andina, se ha usado como indicador el nivel de vida siendo bajo considerando 1 o 2 órdenes de magnitud inferior de los sectores como capitales de las regiones o departamentos, también se tomó en cuenta las distintas fuentes energéticas de que se dispone aprovechando la hidráulico para la producción de electricidad, con el desarrollo y despliegue de este tipo de aprovechamiento se usa la energía eléctrica renovable como una opción con el fin de contribuir con un suministro energético seguro, confiable y medio ambiental corto, mediano y largo plazo [11].

Con referencia a lo anterior en el artículo de Guerra Véliz, Aguilar García y Leyva Haza, en donde se analizó acerca del aprendizaje de la estadística mediante una secundaria básica la usa una contextualización con la cual se puede dotar de significado sobre la actitud de alumnos ante la realizada circundante y el desarrollo de su intuición estadística, con resultados de la aplicación acerca del consumo de electricidad doméstica, para lo cual se usó aplicaciones descriptoras de idoneidad epistémica desagregados en cuatro niveles, se ha logrado una participación activa en donde se ha estimulado actitudes sobre el ahorro de electricidad usando unidades estadísticas abstractas en conexión con el contexto permitiendo el estudio de la realidad, para la ejecución del proyecto se ha usado la organización y el diseño del funcionamiento que asumió la investigación la cual ha validado la contextualizar el aprendizaje de la estadística descriptiva, relacionada con el consumo de electricidad doméstica haciendo que



los alumnos tengas actitudes en favor del ahorro de electricidad en el hogar y la interpretación de los datos estadísticos, al inicio los algunos alumnos planteaban dudas en las consultas a medida que avanza se han despejado las dudas logrando al final integra a los alumnos sin embargo se obtuvieron resultados deficientes en forma general la evaluación fue satisfactoria [12].

Cabe agregar que en el artículo de Rodríguez, Guardia, Camps, Taramona y Sánchez, se realizó el análisis acerca del consumo de energía eléctrica y fuel oil de una empresa de producción de cárnicos en Cuba, para lo cual se han analizado acerca de la producción y consumo de portadores energéticos durante el periodo de 36 meses para lo cual se aplicó una herramienta en donde se analizó información acerca de la producción y consumos de portadores energéticos para lo cual se ha implementado herramientas de la Tecnología de Gestión Total y Eficiente de la Energía (TGTEE), con el fin definir el consumo de energía eléctrica y fuel oil y se diseñó un biodigestor de cúpula fija para la producción de biogás, en donde la energía eléctrica y fuel oil han sido los mayores influyentes sobre el costo energético de la producción obtuvo un 91.93 % del total del consumo en el período evaluado, para lo cual se ha obtenido 15 m<sup>3</sup> de biogás con una concentración de 70% de metano partiendo de los residuos orgánicos generados durante el proceso productivo con un biodigestor anaerobio, en donde la producción de biogás en donde se procesan cárnicos resultando una alternativa adecuada con el fin de propiciar de manera eficiente las potencialidades de las empresas con el fin de ser sostenibles ahorrando y produciendo energías renovables [13].

En el ambiente nacional, encontramos trabajos relacionados con conocer el consumo de energía eléctrica, en este sentido encontramos la tesis de Miguel Díaz, el cual con el objetivo de mejorar el consumo energético de la procesadora de arroz, implementó una gestión en el uso y distribución de las luminarias así como el empleo de motores de alta eficiencia, los resultados obtenidos lograron implementar estrategias para el eficiente uso de la energía, logrando disminuir su consumo de energía eléctrica [14].

Encontramos también el trabajo titulado Uso de técnicas estadísticas para determinar la proyección de las ventas de energía eléctrica del sistema interconectado nacional, (Hidalgo Palomino, Fernando Guillermo, 2018), para lo cual se utilizó datos históricos del consumo de energía eléctrica en el país desde los años 1981 hasta el 2009, así como el crecimiento industrial como poblacional, demanda anual de electricidad, acondicionado a modelos de datos no paramétricos, para poder predecir con mayor exactitud la demanda de la electricidad a nivel nacional, como resultado se presenta un modelo estadístico para el cálculo de la demanda de energía eléctrica como el cálculo de la demanda máxima mensual de energía eléctrica [15].

## **2.2. Bases teóricas**

### **Marco Filosófico del consumo de energía eléctrica**

El marco filosófico de la presente tesis, es uno de los pilares muy importantes, por tratarse del consumo de energía eléctrica, partiendo que la energía eléctrica es una necesidad para el desarrollo de las personas, de las familias, de las comunidades, de los departamentos y del país, lo cual podemos indicar que con el uso de la energía eléctrica podemos mejorar considerablemente la calidad de vida de las personas, las bases teóricas se desarrollará en base a tres ejes filosóficos claramente diferenciados y delimitados como son: el eje ontológico, donde se definirá la relación del ser humano con energía eléctrica y su importancia para su desarrollo, el eje metodológico, donde se definirá los conceptos que gobiernan el consumo de la energía eléctrica, estrategias de generación y distribución y finalmente el eje epistemológico, donde se desarrolla la parte doctrinaria de la investigación centrado en el “cómo debe de ser” enfocado al objeto de la investigación.

### **Fundamentación ontológica del consumo de energía eléctrica**

La presente tesis es experimental aplicada y transversal, aplicamos los conceptos ontológicos como parte de la filosofía del “universo del ser”, como

mecanismo para valorar la necesidad de la energía eléctrica en beneficio de las personas, como una responsabilidad de conocer y poder entender la necesidad de poder predecir el consumo de la energía eléctrica en la ciudad de Lima, debido a que la población crece constantemente y ese crecimiento se debe acompañar con la generación de la energía eléctrica que asegure su desarrollo, por lo cual es necesario el poder tener un mecanismo que tenga la capacidad de poder predecir el consumo de energía eléctrica.

Con el desarrollo de la presente tesis, se podrá analizar temporalmente las necesidades del consumo de energía eléctrica, de esta manera poder tomar las decisiones con respecto a la generación de energía para satisfacer las necesidades de la población.

### **Fundamentación metodológica del consumo de energía eléctrica**

La fundamentación metodológica está relacionado con el “Universo del hacer”, sobre la necesidad de poder conocer las futuras necesidades de energía eléctrica en la ciudad de Lima, que tiene una población en constante crecimiento, utilizando las técnicas que nos proporciona la Ingeniería sumado a los métodos de investigación, representado por las variables que son objeto de investigación, nos permitirán conocer una necesidad que es importante para la continuidad y desarrollo de la población de Lima.

En el desarrollo de la tesis se aplicará mecanismos relacionados con la inteligencia artificial, representado con el uso de las redes neuronales, para esta tarea se requiere información histórica del consumo y su relación con la población, esta tarea nos lleva a poder analizar el comportamiento del consumo de la población en ciertos momentos del año, para poder diseñar la red neuronal.

Con relación a la metodología, nos referimos al procedimiento relacionado con el plan de investigación, mediante el cual aseguramos el cumplimiento de los objetivos planteados, la metodología nos asegura el rigor científico que nos llevan a un análisis doctrinal, lo cual nos permite comprobar las hipótesis planteadas mediante el cumplimiento de los objetivos.

## **Fundamentación epistemológica del consumo de energía eléctrica**

El fundamento epistemológico está relacionado con “Universo del conocer”, como parte doctrinaria la investigación es pre experimental, caracterizado por analizar de parte de las empresas de energía eléctrica deben conocer el “cómo debe de ser” el mecanismo de poder proporcionar energía eléctrica a los usuarios y ver las formas como se puede predecir consumos futuros, podemos indicar finalmente que la intención de la presente tesis, es poder predecir el consumo de energía eléctrica, mediante el análisis de información histórica relacionada con el consumo de la energía eléctrica en diferentes momentos del año, de tal manera que se pueda tomar medidas para poder atender y suministrar sin llegar a un desabastecimiento.

Como un aporte de la presente tesis, el poder proporcionar una herramienta computacional, con lo cual se pueda predecir el consumo de energía eléctrica de una población determinada, ayudaría considerablemente en poder tomar decisiones por parte de las empresas relacionadas a la generación y distribución de la energía eléctrica, en poder planificar nuevas fuentes de energía eléctrica, así como el mantenimiento de los existentes.

Para determinar las bases teóricas con respondientes a las variables, en la presente tesis se ha tomado como referencia el libro titulado Fundamentos Técnicos del Sector Eléctrico Peruano (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011).

- Consumo de Energía Eléctrica
  - Fundamentos Técnicos del Sector Eléctrico
    - La Generación Eléctrica

Se le considera como la primera actividad de la cadena productiva encargada en la transformación de alguna de las clases de energía eléctrica teniendo en cuantos los principales conceptos como energía y potencia eléctrica, máxima demanda, factor de carga, corriente alterna y continúa.

*Energía y potencia eléctrica:* la cantidad de energía producida va a depender de la cantidad de electrones trasladados por un determinado tiempo junto a una magnitud de tensión ocasionada, teniendo en cuenta que se llama condición de equilibrio cuando los átomos tienen la misma cantidad de los protones y electrones es decir se encuentran estabilizados o neutralizados, asimismo se denominar carga positiva o negativa cuando se altera la cantidad ya sea de electrones o protones causando una tensión o voltaje causando un flujo de electrones, denominado intensidad de corriente a la cantidad de corriente que se traslada por un tiempo determinado por lo que se ha definido como producto del voltaje (V), la intensidad de la corriente eléctrica (I) y el tiempo transcurrido (t), para los cual se usara la siguiente formular:

#### Ecuación 1. Energía eléctrica

$$E = V \times I \times t$$

Donde:

E: Energía eléctrica (medido en Watts por hora - Wh)

V: Voltaje (medido en Voltios - V)

I: Intensidad de corriente (medido en Amperios - A)

t: Tiempo transcurrido (medido en Horas - h)

Se llama potencia eléctrica a la energía a máxima capacidad en un periodo es equivalente a la energía eléctrica producida en cada unidad de tiempo de donde se deduce la siguiente formula:

#### Ecuación 2. Potencial eléctrico

$$P = \frac{E}{t} \quad == \quad P = V \times I$$

Por lo tanto, la energía eléctrica define la potencia eléctrica como la capacidad para generar electricidad.

*Potencia, máxima demanda y factor de carga:* se denomina demanda eléctrica a la variable en el tiempo ya que este consumo puede cambiar según la hora, considerando hora punta de mayor consumo de 6:00 pm a 11 pm., por lo que se considera como máxima demanda al registro de mayor consumo en un periodo, para hallar cantidad demanda de energía del día será de la siguiente manera:

Ecuación 3. Cantidad demanda de energía diaria

hora1+ hora 2+ hora 3 + ... hora 23 + hora 24 = Demanda de energía del día

el factor de carga o capacidad de producción es la ratio entre la carga o demanda promedio a la carga o demanda máxima durante el periodo analizado para lo cual se presente la siguiente formula:

Ecuación 4. Factor de carga

$$\text{Factor Carga } (F_c) = \frac{\left( \frac{\text{Carga Total del Periodo}}{\text{Periodo}} \right)}{\text{Carga Max. del Periodo}} = \frac{\text{Carga Prom. del Periodo}}{\text{Carga Max. del Periodo}}$$

Con el uso de la formula del factor de carga, podemos obtener un índice de capacidad ociosa de la siguiente forma:

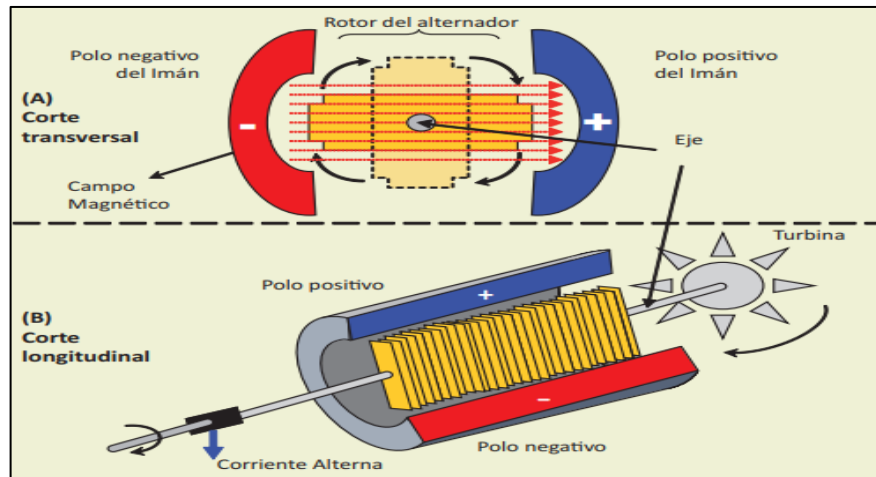
Ecuación 5. Factor de capacidad ociosa

$$\text{Factor de Capacidad Ociosa} = 1 - F_c$$

*Corriente continua y corriente alterna:* la energía eléctrica cuenta con 2 formas denominadas corriente continua y alterna, siendo la de mayor uso la de corriente alterna por sus razones técnico-económicas con el fin de transportar mayores voltajes disminuyendo perdidas de energía en transportes de larga distancias, en cambio la corriente continua se considera aquella que no cambia de polaridad en el tiempo.

*¿Cómo se genera la electricidad?:* la electricidad es generadas con el uso de maquina denominada alternado o generador eléctrico aprovechando la energía mecánica aplicada ya sea a un generador o varios generadores como una central eléctrica.

Figura 1. Generación de electricidad: el alternador

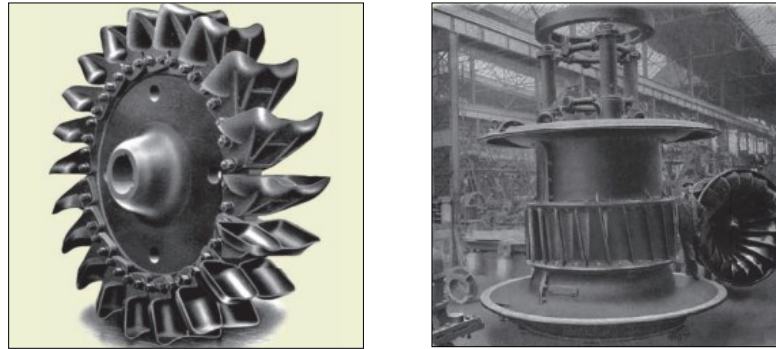


Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 28). A. Dammart,2011

En la figura 1 se muestra un generador eléctrico o alternador con 2 perspectivas en la superior (A) con un corte transversal donde se puede apreciar que tiene 2 polos opuestos de un imán generando atracción el cual crea un campo magnético en su espacio donde se encuentra un rotor girando alrededor de su eje generando corriente eléctrica inducida contactando con los polos del imán y en parte inferior (B) corte longitudinal se aprecia un rotor conectado a una vara metálica haciéndola girar, esta vara se encuentra conectada a una turbina haciendo moverse y girar el rotor del alternador el cual produce corriente eléctrica.

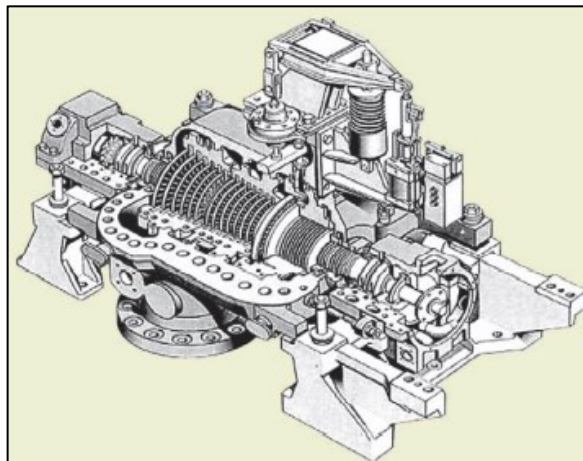
*Turbinas:* es el medio mediante el cual transita un fluido con energía cinética para ser convertido en energía mecánica, por lo que se considera como indispensable en el proceso de generación de la electricidad, se ha clasificado en 2 tipos hidráulicas las que trabajan con líquidos son consideradas como la versión moderna de las ruedas hidráulicas y térmicas son aquellas donde hay un cambio de densidad por lo que se clasifican en turbinas de vapor funcionan con vapor de agua y de gas los cuales se producen por la combustión la cual genera fuerza para la realización de movimiento de las turbinas. En la figura 2, al lado izquierdo se muestra una turbina hidráulica del tipo Pelton, mientras que, en el lado derecho, una turbina hidráulica del tipo Francis

Figura 2. Turbinas hidráulicas



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 29). A. Dammart,2011

Figura 3. Turbina a vapor



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 30). A. Dammart,2011



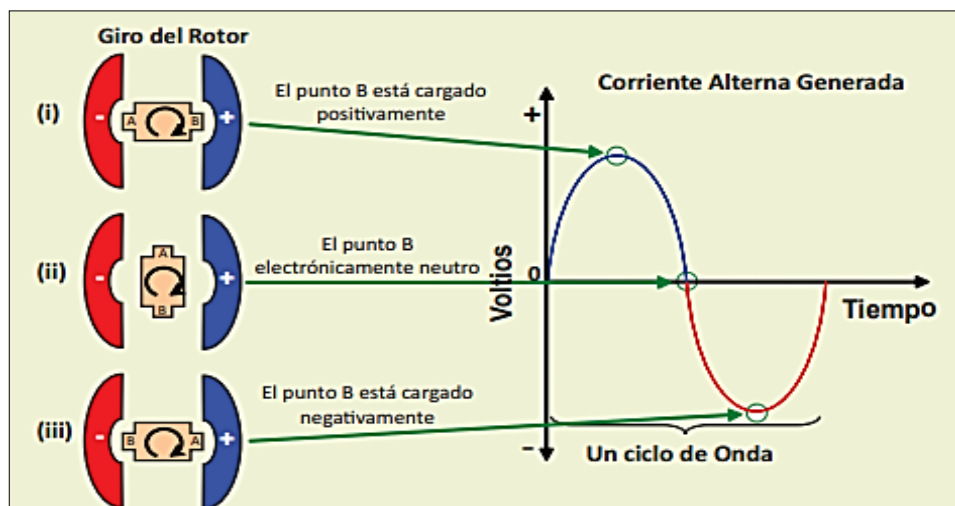
Tabla 1. Tipos de Turbinas

<b>Tipo de Turbina según la fuente primaria</b>	<b>Tipo de Turbina según la fuente y tecnología</b>	<b>Nombre de la Turbina y Eficiencia</b>
Turbinas hidráulicas: trabajan con líquidos se dividen según la variación de presión.	Turbinas de acción o impulsión: el flujo que las atraviesa no cambia de presión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbinas Pelton o turbina de chorro (84% a 92% de eficiencia)</li> <li>• Turbinas Turgo (eficiencia de 90%)</li> <li>• Turbinas de flujo cruzado (70% a 80% de eficiencia)</li> </ul>
	Turbinas de reacción o sobrepresión: El flujo que las atraviesa cambia de presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbinas Francis (85% a 95% de eficiencia)</li> <li>• Turbinas Kaplan (93% a 95% de eficiencia)</li> <li>• Turbinas de flujo cruzado (70% a 80% de eficiencia)</li> </ul>
Turbinas térmicas: consideradas las que sufren cambio densidad de los fluidos.	Turbinas de vapor: funcionan con el vapor de agua como fluido que brinda la energía cinética a la turbina	
	Turbinas de gas: son aquellas que trabajan a base de gases, obtenidos producto de la combustión	

Fuente: Elaboración propia

*¿Cómo se genera energía eléctrica alterna?:* se produce del oscile entre el cuadrante positivo y negativo, en la parte (i) el roto está en contacto con los polos del imán a la que se denomina cresta de la onda de corriente alterna, el rotor jiro hasta pasar a la situación (ii) en donde la cantidad de energí va ir disminuyendo como respuesta al alejamiento de los polos del imán por lo que cuenta con mejor voltaje en la onda de corriente, asimismo hasta llegar dejar de hacer contacto con los polos en donde el voltaje es cera momento donde la corriente corta le eje horizontal mientras que el rotor sigue girando cambiando de polo positivo al negativo del imán generando corriente negativa, para determinar el número de ciclos de la onda se realiza el conteo de la cantidad de giros por segundo del rotor al cual se le conoce con el nombre de frecuencia, en donde se considera 1 ciclo desde el comienzo de onda positiva hasta el negativa la cual se mide en Hertz (Hz) que en el Perú es de 60 Hz.

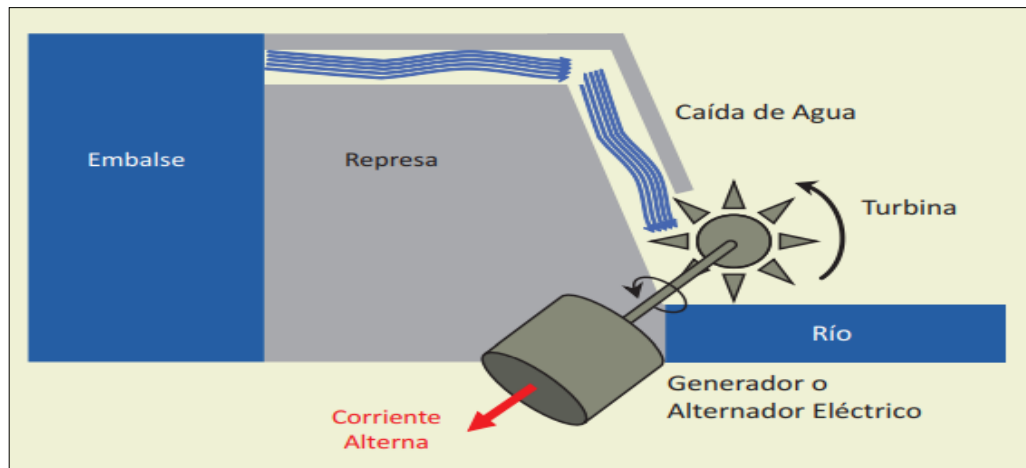
Figura 4. Generación eléctrica y corriente alterna



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 30). A. Dammart,2011

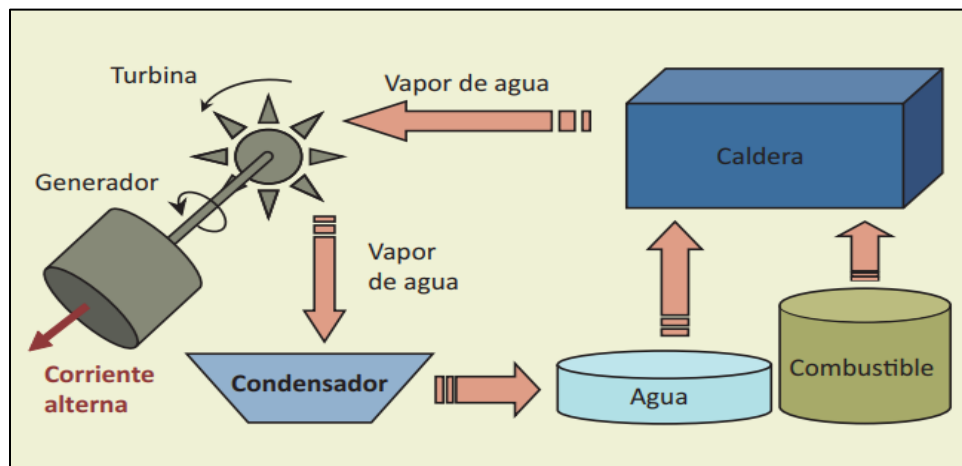
*Tipos de generación eléctrica:* se clasifican en función a la fuente de energía primar que es usada para girar la turbina del generador, los cuales se han dividido en 2 grupos generación hidráulica y térmica:

Figura 5. Esquema de la generación hidráulica de embalse



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 33). A. Dammartt,2011

Figura 6. Esquema de la generación térmica a diésel y/o derivados



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 35). A. Dammartt,2011

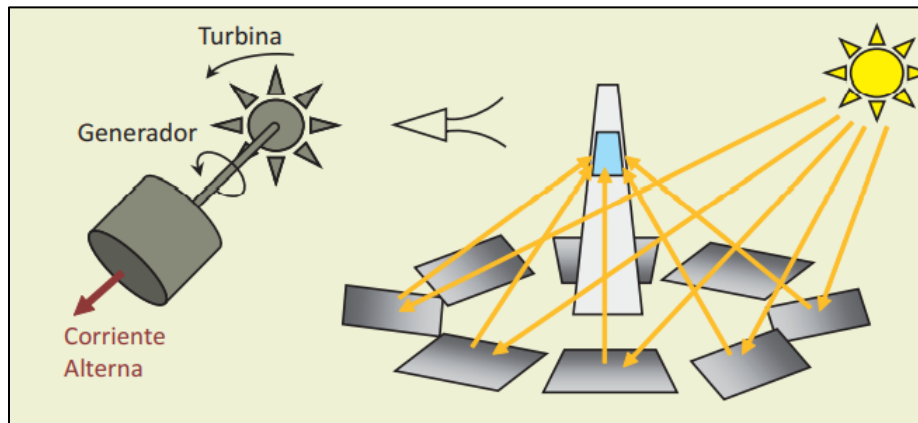
Tabla 2: Tipos de generación

Tipos de generación	Descripción
<b>Generación hidráulica: usa energía cinética y potencial gravitatorio para girar el rotor.</b>	Centrales hidráulicas de pasada: no cuentan con embalsame por la energía cinética del movimiento del agua para mover las turbinas del generador, van depender de la temporada para generar la cantidad de corriente.
	Centrales Hidráulicas de embalse: usa energía cinética y potencial gravitatoria, generando un salto geodésico con la liberación el agua mueve las turbinas generando corriente la cual se regula sin depender del caudal.
<b>Generación térmica: se basa en energía en forma de calor, con uso de combustibles fósiles para gira el rotor del alternador</b>	Centrales térmicas a diésel y/o derivados: usa derivados del petróleo, la combustión calienta el agua hasta su ebullición expulsándolo el vapor con presión y altas temperatura haciendo girar las turbinas.
	Centrales térmicas a carbón: combustión del carbón hasta la ebullición expulsando el vapor con presión y altas temperatura hacen girar las turbinas, quedando partículas sólidas en consecuencia se debe realizar otro proceso.
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>Central térmica a gas natural: usa 2 tipos ciclo simple y compuesto</p> </div> <div style="width: 65%;"> <p><i>Central térmica a gas natural de ciclo simple:</i> se concentran en una cámara de combustión, usa un compresor de aire para aumentando la presión haciendo girar las turbinas.</p> <hr/> <p><i>Central a gas natural de ciclo combinado:</i> se usa gases de alta temperatura y son reusados para calentar el agua hasta liberar vapor para que gire la 2da turbina.</p> </div> </div>

Tipos de generación	Descripción	
<b>Centrales eléctricas no convencionales: usa centrales de tecnologías.</b>	Generación nuclear: usan diésel, residual entre otros, parte del proceso de energía eléctrica alterna, el cual hacer girar las turbinas con el vapor expulsado con altas temperaturas, sin hacer uso de energía calorífica.	
	Generación eólica: usa la fuerza del viento para realizar el proceso, la energía cinética de las corrientes de aire haciendo girar las hélices de los aerogeneradores eléctricos con potencias.	
	Generación solar: energía primaria y la más abundante.	La conversión fotovoltaica: transformación de la energía solar en eléctrica mediante celdas solares echas de silicio siendo fotosensible, genera una carga eléctrica de corriente continua.
	La generación termosolar: el agua almacenada con temperatura elevada por rayos solares liberándola a altas temperaturas y presión haciendo girar las turbinas.	
	Generación geotérmica: calor de la tierra como renovable porque reinyectar el agua a la tierra rompiendo el equilibrio natural dejando fuente de agua de altas temperaturas pudiendo llegar a contaminar fuente de agua.	

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Esquema de la Generación Termosolar



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 41). A. Dammart,2011

### **La cogeneración y la generación distribuida**

no se cuenta con una eficiencia de 100% con respecto a la conversión de la energía producida a energía eléctrica, sin embargo, la cogeneración se encarga del uso de la energía desperdiciada haciendo que la eficiencia se incremente, con la cogeneración genera energía y aprovecha el calor que puede ser usado para uso doméstico o autoconsumo, genera mayor eficiencia con menores costos reduciendo impacto ambiental, por otro lado, la generación distribuida está cerca de la demanda, eliminando o minimizando las líneas de transmisión eléctrica inyectando la energía directamente al sistema de distribución eléctrica.

### **La Transmisión Eléctrica**

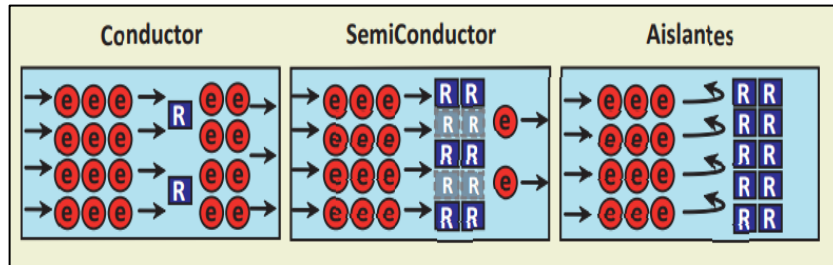
Es el transporte de la electricidad desde su producción hasta los centros de consumo debiendo contar con medios para el transporte de electrones llamados conductores eléctricos afectando el paso de la corriente dependiente de la resistencia, teniendo en cuenta los factores como longitud, superficie y los materiales del cuerpo, según el grado de resistencia se ha dividido en:

- Conductores: son los medios con resistencia muy baja para el paso de la corriente, como metálicos y no metálicos.
- Aislantes: conocidos también como dieléctricos, cuentan con una

resistencia muy alta con el paso de la corriente.

- Semiconductores, se comportan como un conductor o como un aislante dependiendo de las condiciones y temperatura.

- Figura 8. Resistencia de los materiales



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 45). A. Dammart,2011

### Las pérdidas de energía en la transmisión

La transmisión eléctrica se realiza a elevados voltajes con el fin de minimizar las pérdidas de energía, las cuales se producen indefectiblemente. En ese sentido, resulta de interés conocer algunos conceptos que se encuentran relacionados a la pérdida de energía, tales como: el efecto Joule, la densidad de corriente eléctrica, la resistencia eléctrica y la minimización de pérdidas de energías como:

*Efecto Joule*: es el transporte energía a elevados voltajes y baja intensidad de corriente minimizando el efecto Joule, para lo cual se usará la siguiente fórmula:

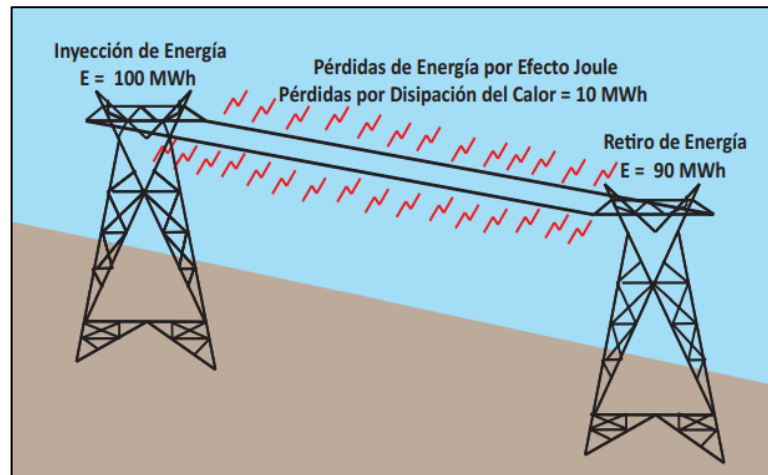
Ecuación 6. Efecto Joule

$$Q = I^2 * R * t$$

Donde:

- Q: Energía calorífica
- I: Intensidad de la corriente
- R: Resistencia
- t: Tiempo

Figura 9. Efecto Joule en la transmisión eléctrica



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 47). A. Dammart,2011

*Densidad de corriente eléctrica:* se refiere a la cantidad de corriente eléctrica que pasa por un conductor eléctrico multiplicado por unidad de área o superficie según siguiente ecuación:

Ecuación 7. Densidad de corriente eléctrica

$$Q = \frac{I}{A}$$

Donde:

- J: Densidad de la corriente
- I: Intensidad de la corriente
- A: Área de la sección transversal del conductor

*Resistencia eléctrica:* es la pérdida de energía eléctrica en el proceso de transmisión para lo cual se usa la siguiente formula:

Ecuación 8. Resistencia eléctrica

$$R = \frac{\rho * L}{A}$$



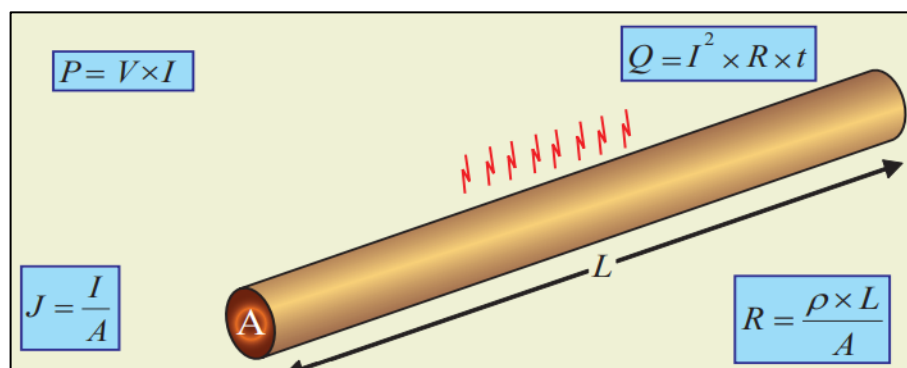
Donde:

- R: Resistencia del conductor
- $\rho$ : Resistividad
- L: Longitud del conductor
- A: Área de la sección transversal del conductor

*Minimización de las pérdidas de energía:* para lo cual se usa la fórmula de la potencia con el cual se puede elevar el voltaje y disminuir la intensidad de la corriente con potencia inalterada, el efecto Joule indica que elevando el voltaje se reduce las pérdidas, luego densidad de la corriente indica que con la disminución de la sección transversal reduce la intensidad de la corriente, reduciendo pérdidas de energía

Finalmente, en la parte inferior derecha, tenemos la fórmula de la resistencia, de la cual se pueden obtener dos indicadores.

Figura 10. Minimización de las pérdidas de energía en la transmisión eléctrica



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 49). A. Dammart, 2011

*Los componentes de la transmisión eléctrica y las etapas del proceso de transmisión:* cuenta con líneas de alta o muy alta tensión permitiendo el intercambio de energía, además de subestaciones de transformación, los centros de control, las instalaciones de compensación reactiva, los elementos de

regulación de tensión, la transferencia de potencia activa, se ha dividido en 4 etapas:

*Primera etapa:* inicia con la generación de energía y potencia al sistema de transmisión, necesitando elevar la tensión para reducir las pérdidas, la elevación se realiza mediante el transformador que eleva el voltaje a niveles mayores a 100 kV (kilovoltios).

*Segunda etapa:* una vez obtenido el nivel de tensión requerido, transfiriendo la energía mediante líneas de transmisión de alta tensión con dirección a los centros consumo.

*Tercera etapa:* realiza la reducción de la tensión, con el uso de subestaciones de transformación pasando de alta o alta a alta o media tensión.

*Cuarta etapa:* transforma la energía de media a baja tensión para su posterior distribución y/o consumo.

Figura 11. Línea de transmisión de 220 kV, Mantaro – Cotaruse



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 49). A. Dammartt, 2011, Osinerning

*Instalaciones del sistema de transmisión nacional:* se debe tener en cuenta el sistema de transmisión: subestaciones de transformación y torres de transmisión eléctrica

- a. *Subestación de transformación*: es el encargado de modificar el nivel de tensión (voltaje), se tiene 2 tipos: subestaciones elevadoras de tensión ubicadas cerca de las centrales eléctricas y las subestaciones reductoras de tensión disminuyen el nivel de tensión están ubicadas cerca a los centros de consumo.

Figura 12. Subestaciones de transformación de Tumbes y Lambayeque

S.E. Zorritos, 220/ 60/ 10 kV.  
Tumbes/ Zorrito



S.E.T. Occidente, 7/7/3, 60/10kV.  
Lambayeque



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 50). A. Dammartt, 2011, Osinerming

- b. *Torre de transmisión eléctrica*: son las estructuras sobre las cuales se sostienen las líneas de transmisión eléctrica pueden ser metálicas y galvanizadas, dependiendo de las características geográficas, climatológicas.

Tabla 3: Clasificación de las torres de transmisión

Clasificación	Descripción
Según el material de construcción	Postes de hormigón: constituidas de concreto armado centrifugado o pretensado. Torres metálicas: construidas a partir de acero galvanizado
Según la función que ejerce:	Torres de suspensión: usado en terreno llano o poco accidentado considerando línea recta y de menor costo. Torres de retención: son usados para soportar esfuerzos laterales, originados por un cambio de dirección, con extremos terminales y en terrenos no llanos.

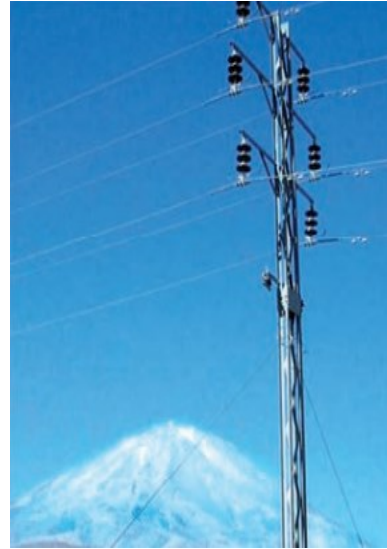
Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Torres de transmisión según el material de construcción

Estructura de hormigón (L-6605  
Independencia–Pisco, 60 kV)



Estructura metálica (L-3003/3004  
Charcani VI–Chilina, 33 kV)



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 51). A. Dammartt,2011, Osinerming

Figura 14. Torres de transmisión según la función que ejerce

Torre de suspensión (LT 6033 Illimo-  
Occidente 60 kV)



Torre de retención (LL.TT. Casa de Máquinas -  
S.E. Campo Armiño: Colcabamba –Tayacaja –  
Huancavelica.)



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 52). A. Dammartt,2011, Osinerming

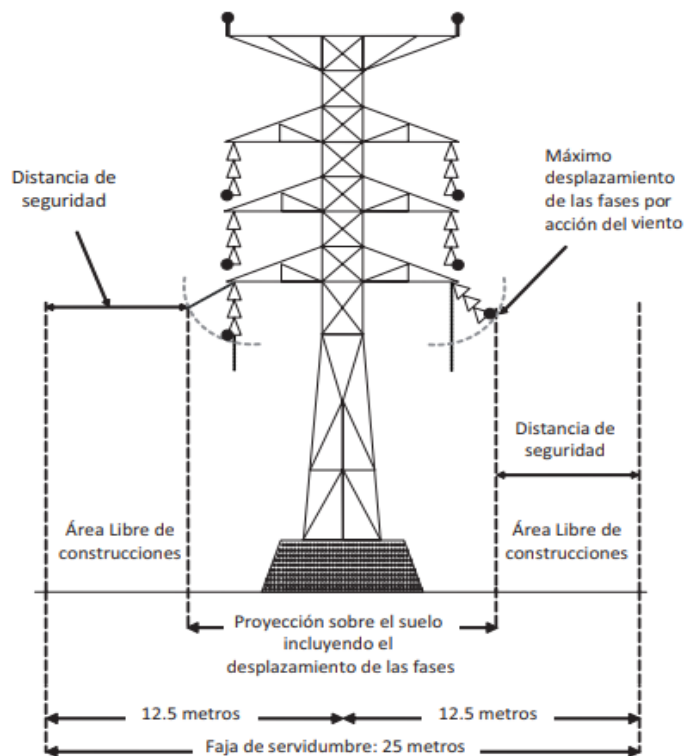
- *Fajas de servidumbres en líneas de transmisión:* permiten garantizar la seguridad, en el Perú, el encargado de otorgar la servidumbre es Ministerio de Energía y Minas permitiendo la instalación de líneas de transmisión eléctrica, con un ancho mínimo de faja está en función a la tensión nominal de la línea de transmisión como se muestra en el siguiente cuadro:

Figura 15. Anchos mínimos de faja de servidumbres

Tensión nominal de la línea (kV)	Ancho mínimo (m)
De 10 – 15	6
20-36	11
60-70	16
115-145	20
Hasta 220	25

Fuente: Código Nacional de Electricidad – Suministro

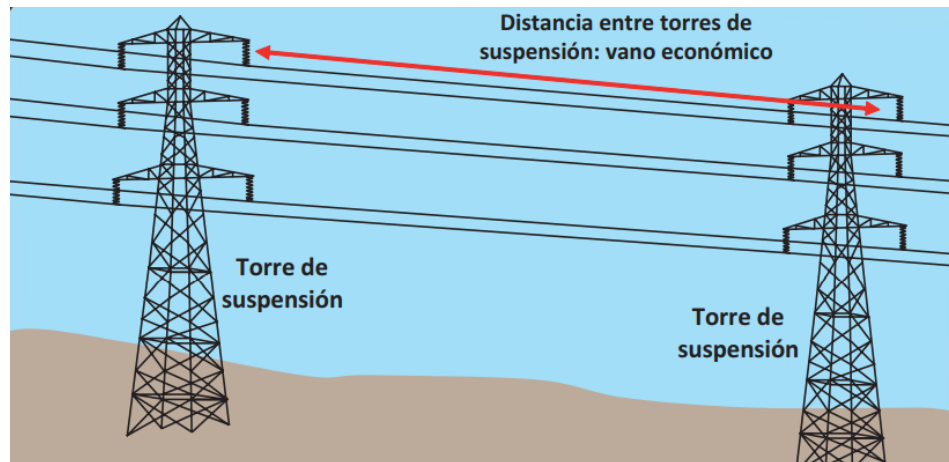
Figura 16. Faja de servidumbre para una línea de 220 kV



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 55). A. Dammart,2011.

*El vano económico y los vanos especiales:* el termino vano significa la distancia existente entre dos torres de transmisión los cuales pueden ser de 2 tipos vano económico esta relación con las torres de suspensión instalado en terrenos poco accidentados con distancias entre torres uniformes y vano especial está relacionado con torres de retención diseñada para terrenos montañosos

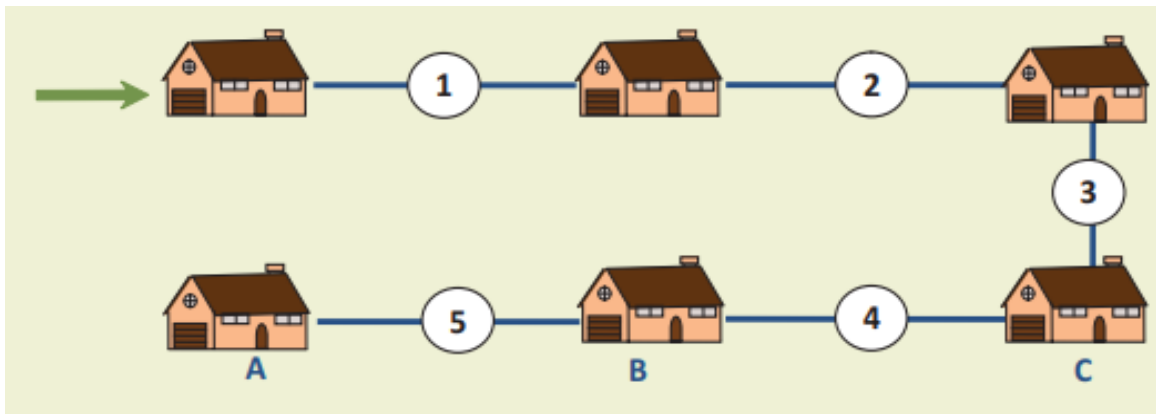
Figura 17. El vano económico



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 56). A. Dammart,2011.

- *La Distribución Eléctrica.* Es el encargado de realizar la distribución la energía al suministro desde la transmisión hasta los usuarios finales, mediante componentes para mantener el equilibrio entre ambos con de fin de mantener en funcionamiento ante posibles fallas minimizando costos.
- *Topología de redes de distribución eléctrica:* cuenta con una estructura o forma para organizar las redes contamos con configuraciones comunes como los sistemas radiales, los sistemas en anillo y los sistemas enmallados.
  - a. *Sistemas radiales:* su característica principal es que cada unidad parte de un solo punto, con el fin de buscar la forma más económica, su desventaja es que solo cuenta con 1 única fuente de energía, y su venta es que tiene menor costo enfrentándose en una disyuntiva entre los costos y la confiabilidad.

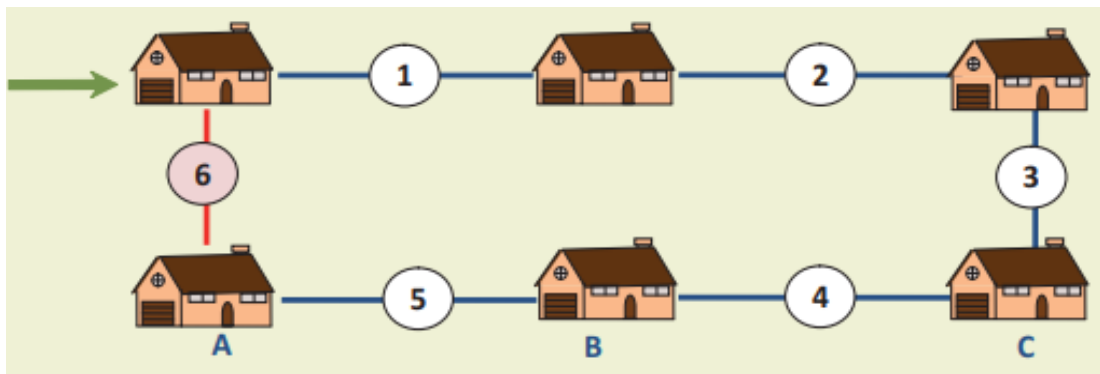
Figura 18. Sistema de distribución radial, la línea verde es el inicio del proceso



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 57). A. Dammart, 2011.

- b. **Sistemas en anillo:** cuenta con una mejor confiabilidad agregando al sistema anterior una conexión entre el primer y el último punto o usuario, incrementando costos, sin embargo, si una línea se corta las demás seguirán trabajando por lo que están conectados con 2 líneas.

Figura 19. Sistema de distribución en anillo

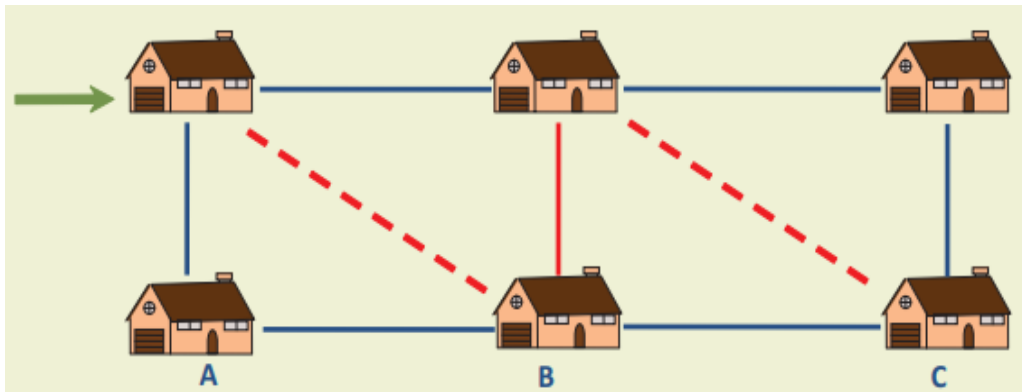


Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 57). A. Dammart, 2011.

- c. **Sistemas enmallados:** cuenta con características de interconexiones contando un nivel alto de confiabilidad del sistema, pero con mayor costo se tiene conexiones en forma de anillo o malla.



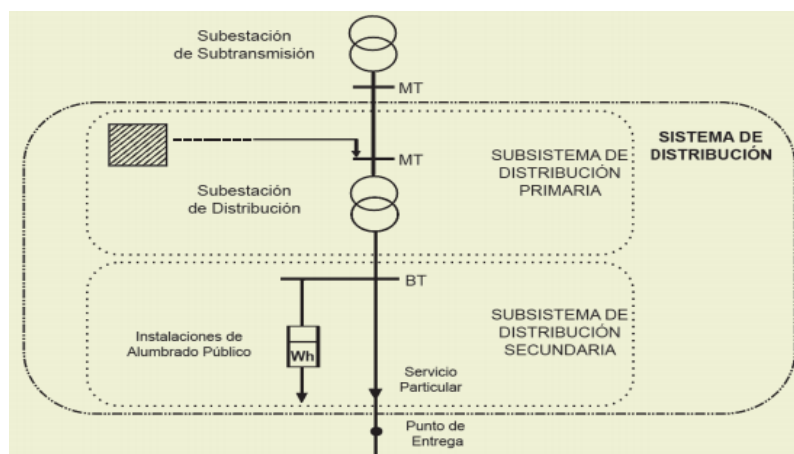
Figura 20. Sistema de distribución enmallado



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 58). A. Dammartt,2011.

- *Tipos de distribución eléctrica en el Perú:* en nuestro país se cuenta con un sistema de distribución de media o de baja tensión con un máximo de hasta 30 kV, distribuida en subsistema de distribución primaria y secundaria, instalaciones de alumbrado público, las conexiones y los puntos de entrega.
  - a. Subsistema de distribución primaria: realiza el transporte de la energía eléctrica a media tensión desde el sistema de transmisión al subsistema de distribución secundaria.
  - b. Subsistema de distribución secundaria: transporta la energía eléctrica a baja tensión para el uso de los usuarios, este subsistema primario está en Media Tensión (MT), y el subsistema de distribución secundaria, está en Baja Tensión (BT).

Figura 21. Sistema de distribución primaria y secundaria



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 59). A. Dammartt,2011.



- *La acometida:* se denomina a parte de la conexión que iniciando en los conductores instalados desde el empalme con la red de distribución secundaria hasta los bornes en entrada a los medidores.
- *Partes de la acometida y tipos de conexiones:* cuenta con las principales partes como son el punto de alimentación o conexión, los conductores o cables, los dispositivos de protección, la caja de medidores y la caja de toma, son de diferentes tipos según su ubicación:
  - a. Acometidas aéreas: parte desde una red de distribución aérea, los cables deber ser de manera continua en su longitud y debe estar ubicada en la parte externa del inmueble.
  - b. Acometidas subterráneas: parte de una red de distribución subterránea, y no deben pasar por el subsuelo de otros inmueble considerando una distancia entre las redes también deben ser continuos en su longitud debe estar ubicada en el exterior con una profundidad mayor a metro y medio
  - c. Acometidas aéreo – subterráneas: se puede realizar desde una red de distribución aérea y que desciende al subsuelo.
- *Medidores o contadores eléctricos:* se llama medidor a la separación entre las conexiones interna entre el servicio eléctrico y la acometida, el cual cuantifica el consumo eléctrico, y el encargado del mantenimiento e instalación es la empresa tiene una vida útil de 30 años aproximadamente.
- *Clasificación de los medidores eléctricos:* se deben de considerar las características como la construcción del medidor, el tipo de energía y los parámetros que mide, y la conexión a la red eléctrica.

Tabla 4: Clasificación de los medidores eléctricos

TIPOS	SUB TIPOS
Según a su construcción	<p>Medidores electromecánicos o medidores de inducción: registran consumo sin contar con parámetros de conexiones.</p> <p>Medidores electromecánicos con registrador electrónico: disco giratorio mide la energía consumida conectada captador óptico</p> <p>Medidores electrónicos: muestran el consumo eléctrico a través de un sistema análogo-digital mitrando medición más exacta.</p>
Según la energía que miden	<p>Medidor de energía activa: registra el consumo de energía activa se expresa en kilowatts por hora (kWh).</p> <p>Medidor de energía reactiva: registra el consumo de energía reactiva expresa en kilovoltios amperios relativos hora (kVarh).</p>
De acuerdo con la conexión en la red	<p>Medidor monofásico bifilar: registra el consumo de conexiones con una fase o conductor activo y 1 no activo o neutro.</p> <p>Medidor monofásico trifilar: registra el consumo de conexiones de 1 sola fase, dividida en 2 conductores activos y 1 no activo</p> <p>Medidor bifásico trifilar: registra el consumo en las conexiones que tengan dos fases o conductores activos y solo un conductor no activo o neutro</p> <p>Medidor trifásico tetrafilar: registra el consumo de conexiones con tres fases o conductores activos y 1 no activo o neutro.</p> <p>Medidor trifásico trifilar: registra el consumo de conexiones con tres fases o conductores activos y sin ningún conductor neutro.</p>
De acuerdo a los parámetros que son medidos	<p>Medidores de tarifa simple: registra el consumo eléctrico de forma continua, muy útil cuando se cuenta con una tarifa uniforme. Es el de uso más extendido entre los consumidores residenciales, industrias y comercios que presentan un bajo consumo de energía</p> <p>Medidores multitarifa: registra el consumo, asignando diferentes precios en diferentes horas del día, también mide también energía reactiva, factor de potencia.</p>

**Fuente:** Elaboración propia

Figura 22. Medidor trifásico electromecánico

Medidor electromecánico



Medidor electrónico



Medidor monofásico



Medidor trifásico electromecánico



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 63, 64). A. Dammart,2011.

- El Mercado Eléctrico Peruano
- El Mercado de Electricidad  
El mercado peruano cuenta con características particulares en cuanto a sus aspectos técnicos y su infraestructura.
- *Características de la energía eléctrica:* se cuenta 2 características principales.
  - a. La electricidad no se puede almacenar: desde el punto de vista técnico-económico, no se puede almacenar, resulta muy costoso, sin embargo esto se debe ver por la cantidad de energía para ser almacenada
  - b. La electricidad se produce en el momento en el que se demanda: no se considera factible su almacenamiento se debe lograr la coincidencia entre oferta y demanda de electricidad realizado en varias formas.

- *Características de la organización de la industria eléctrica en el Perú:* se tomó en cuenta la generación, transmisión, distribución, comercialización y la operación del sistema, siendo la generación la primera actividad de esta cadena productiva acerca de la transformación de la clase de energía, sabiendo que esto locales se encuentran alejados con la cual se debe tener en cuenta la infraestructura para el transporte mediante líneas de transmisión cubriendo grandes distancias con elevados voltajes, más conocida como transmisión eléctrica, luego sigue la continua la distribución eléctrica que es la transmisión hasta el consumidor final y por último la comercialización eléctrica dividida entre mayorista y minorista a cargo de un operador, en el Perú el operador del sistema es el Comité de Operación Económica del Sistema (COES).

Figura 23. Actividades desarrolladas en el sector eléctrico



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 68). A. Dammartt,2011.

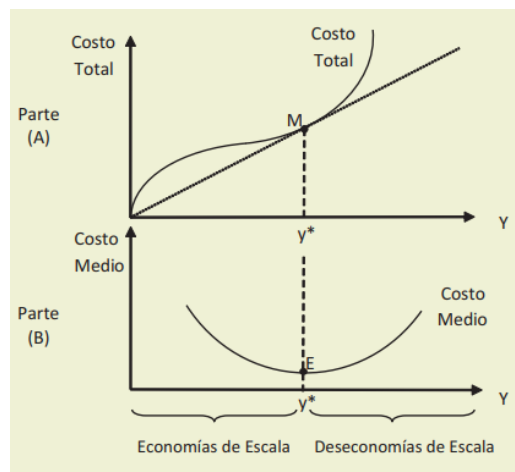
- Diseño del mercado eléctrico peruano: en el Perú el principal problema es la poca inversión, baja cobertura, tarifas no suficientes para cubrir costos, mala calidad generando la separación o desintegración de las actividades y el proceso de privatización.
  - a. Las economías y deseconomías de escala: hay economías de escala si incrementa la proporción en donde los costos totales aumentan en menor proporción lo que sucede por los costos medios de largo plazo bajan cuando aumenta la producción en el eje de las abscisas están las cantidades producidas y el eje de las ordenadas son los costos, para

obtener el costo medio se define con la siguiente formula:

$$C_{me} = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Produccion Total}} = \frac{C(y)}{y}$$

En el punto E se ubica el punto mínimo de costo medio, en el nivel de producción al cual se llama tamaño óptimo de planta ( $y^*$ ), podemos encontrar la función de costos exhibe economías de escala (costos medios crecientes), finalmente en el tamaño optimo no existen economías ni deseconomías de escala.

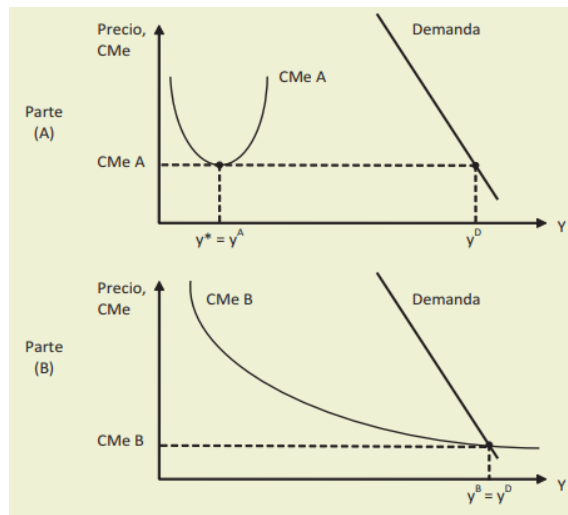
Figura 24. Economías y deseconomías de escala



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 69). A. Dammarth,2011.

- b. Las economías de escala y la estructura del mercado eléctrico: en el parte A esta la curva del costo medio llamada CMe A, representada en forma de U es decir que el coste medio va a disminuir a medida que aumenta la producción, llegando al punto más bajo o tamaño óptimo de la planta, aumentando a medida que aumenta la producción, apreciando el tamaño óptimo de planta es menor con respecto a la demanda del mercado ( $y^A < y^D$ ), en la parte B se muestra que la economía son tan grandes que sobrepasan el tamaño de la demanda del mercado teniendo un costo medio (CMe B) decreciente en cualquier nivel de producción no siendo recomendada para que las empresas operen a esto se llama ineficiencia productiva, considerando que el tamaño optimo es la inversión fija.

Figura 25. Economías de escala y estructura de mercado



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 70). A. Dammarth, 2011.

c. Separación del sector eléctrico peruano en actividades: el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es el ente encargado de verificar que los operadores cumplan con los requisitos para la entrega de los servicios.

- La Generación Eléctrica en el Perú

Para realizar la verificación de aspectos para el desarrollo de la de la generación eléctrica en el Perú son las actividades primaria y secundaria, con los cuales podremos reconocer datos importantes.

- La energía primaria: se denomina así cuando es conseguida partiendo de fuentes naturales, son usadas de forma directa, materiales como carbón mineral, leña, bosta, llareta o yareta, bagazo, petróleo crudo, gas natural, hidroenergía, energía solar, energía eólica, energía nuclear, reservas de energía primaria en el Perú: la evolución de las reservas de energía primaria en nuestro país.

Tabla 5. Clasificación de las Reservas en el Perú

<b>Tipos</b>	<b>Subtipos</b>
Clasificación de las Reservas	Reservas probadas: cuentan con probabilidades muy alta es decir con alto nivel de certidumbre. Reservas no probadas: reservas probables tienen menor nivel de certidumbre y reservas posibles tienen un nivel de certidumbre aún menor de las probables.
Clasificación de la energía primaria	Energía primaria comercial: se le considera a la oferta y demanda del mercado energético. Energía primaria no comercial: no se oferta ni se demanda del mercado usado para su propio o autoconsumo.

Fuente: Elaboración propia

La energía secundaria: es el resultado del proceso de transformación de la energía primaria.

- Empresas de generación eléctrica: entre las energías primarias y secundarias en el Perú se cuenta con al menos 30 empresas entre 2002-2009 de las cuales han dejado de funciona por diversas razones fueron Arcata, CNP Energía, Etevensa, Energía Pacasmayo y Globeleq.

Tabla 6. Empresas de Generación Eléctrica

Empresas de Generación Eléctrica
Arcata Energía S.A.A. – ARCATA
Cementos Norte Pacasmayo Energía S.A.C. – CNP
Consortio Energéco Huancavelica S.A. – CONENHUA
Eléctrica Santa Rosa S.A.C. – ELÉCTRICA SANTA ROSA
Empresa de Generación Eléctrica Atocongo S.A. –ATOCONGO
Empresa de Generación Eléctrica Cahua S.A. – CAHUA
Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. – EGASA

---

Empresas de Generación Eléctrica

---

Empresa de Generación Eléctrica de Lima S.A. – EDEGEL

Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A. – EGESUR

Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA

Empresa de Generación Eléctrica Nor Perú S.A. – EGENOR

Empresa de Generación San Gabán S.A. – SAN GABÁN

Empresa de Generación Termoeléctrica Ventanilla S.A. – ETEVENSA

Empresa Eléctrica de Piura S.A. – EEPSA

Empresa de Electricidad de los Andes S.A. – ELECTROANDES

Empresa de Electricidad del Perú S.A. – ELECTROPERÚ

Empresa Generación y Comercialización del Servicio Público de Electricidad Pangoa S.A. – EGEPSA

Energía del Sur S.A. – ENERSUR

Energía Pacasmayo S.R.L. – ENERGÍA PACASMAYO

Globeleq Perú S.A. – GLOBELEQ

Kallpa Generación S.A. – KALLPA

Shougang Generación Eléctrica S.A.A. – SHOUGESA

Sindicato Energéico S.A. – SINERSA

Sociedad Minera Corona S.A. (Div. Energía)

Termoselva S.R.L. – TERMOSELVA

Hidroeléctrica Santa Cruz S.A.C. – ELÉCTRICA SANTA CRUZ

Chinango S.A.C. – CHINANGO

---

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 86). A. Dammarth, 2011.



- Empresas distribuidoras que además generan electricidad: para lo cual se debe tener en cuenta acerca de las empresas de generación eléctrica sino también de las que provienen de algunas empresas distribuidoras como las siguientes:

Tabla 7. Empresas distribuidoras que además generan electricidad

<b>Empresas de Distribución Eléctrica</b>
INADE – Proyecto Especial Chavimochic – CHAVIMOCHIC
Edelnor S.A.A. – EDELNOR
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Oriente S.A. – ELECTRO ORIENTE
Electro Puno S.A. – ELECTRO PUNO
Empresa de Regional de Servicio Público de Electricidad del Sur Este S.A. – ELECTRO SUR ESTE
Electro Sur Medio S.A.A. – ELECTRO SUR MEDIO
Empresa de Distribución Eléctrica de Ucayali S.A. – ELECTRO UCAYALI
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Centro S.A. – ELECTRO CENTRO
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electronoroeste S.A. – ELECTRONOROESTE
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A. – ELECTRONORTE
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electro Norte Medio S.A. – HIDRANDINA
Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. – SEAL

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 89). A. Dammarth, 2011.

- La Transmisión Eléctrica en el Perú

Las líneas de transmisión son usadas para conectar las centrales y las líneas de distribución según su ubicación se tienen 2 sistemas grandes los cuales no se encontraban interconectados Sistema Interconectado Centro–Norte (SICN) y el Sistema Interconectado del Sur (SISUR) hasta que se logró hacer la interconexión mediante la línea transmisión Mantaro–Socabaya con el cual se ha creado el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional–SEIN.

- Los beneficios de la interconexión: dentro de los principales beneficios se tienen:

- i) Mayor confiabilidad de suministro: mediante la interconexión se puede conectar desde cualquier punto con el cual se ha disminuido la dependencia.
- ii) Mayor eficiencia: debido a la interconexión se tiene una mejor asignación de los recursos.
- iii) Mayor electrificación: la interconexión ha permitido la ampliación del suministro a mayor cantidad de usuarios.
- iv) Precios menores y menos volátiles: debido a la mayor disponibilidad de centrales se tiene menores precios y menos volátiles.

- Los sistemas de transmisión eléctrica en el Perú: la transmisión en el Perú se usa mediante el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y los Sistemas Aislados (SS.AA.):

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN): es el encargado de las instalaciones y actividades del sector eléctrico conectadas mediante las líneas de transmisión.

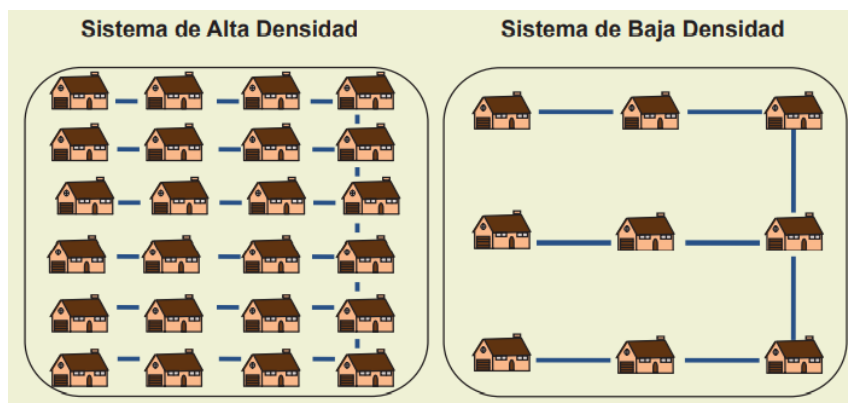
Tabla 8: Empresas de transmisión eléctrica

Zona	Línea	Titular	Tensión nominal (kV)	Número de ternas	Longitud (km)
Norte	S.E. Malácas (Talara) - S.E. Piura Oeste	REP	220	1	103,8
	S.E. Chiclayo Oeste - S.E. Guadalupe	REP	220	1	83,7
	S.E. Guadalupe 1 - S.E. Trujillo Norte	REP	220	1	103,4
	S.E. Chimbote 1 - S.E. Paramonga Norte	REP	220	2	220,3
	S.E. Paramonga - S.E. Vizcarra	ETESSELVA	220	1	145,3
	S.E. Paramonga - S.E. Huacho	REP	220	2	55,6
	S.E. Huacho - S.E. Zapallal	REP	220	2	103,9
	S.E. Chavarría - S.E. Santa Rosa	REP	220	2	8,8
	S.E. Paragsha II - S.E. Huánuco	REP	138	1	86,2
	S.E. Huánuco - S.E. Tingo María	REP	138	1	88,2
	S.E. Pachachaca - La Oroya Nueva	ISA PERU	220	1	21,2
	S.E. Oroya - Carhuamayo ISA PERU	ISA PERU	220	1	76,1
	S.E. Carhuamayo - Paragsha ISA PERU	ISA PERU	220	1	43,3
	S.E. Paragsha - Vizcarra	ISA PERU	220	1	121,1
	Interconexión	S.E. Campo Armiño (Mantaro) - S.E. Cotaruse	TRANSMANTARO	220	2
S.E. Cotaruse - S.E. Socabaya		TRANSMANTARO	220	2	310,9
Sur	S.E. Cerro Verde - S.E. Repartición	REP	138	1	30
	S.E. Repartición - S.E. Mollendo	REP	138	1	55
	S.E. Quencoro - S.E. Dolorespata	REP	138	1	8,4
	S.E. Tintaya - S.E. Ayaviri	REP	138	1	82,5
	S.E. Ayaviri - S.E. Azángaro	REP	138	1	42,4
	S.E. Socabaya - S.E. Moquegua (Montalvo)	REDESUR	220	2	106,7
	S.E. Moquegua (Montalvo) - S.E. Tacna	REDESUR	220	1	124,4
	S.E. Moquegua (Montalvo) - S.E. Puno	REDESUR	220	1	196,6

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 91). A. Dammartt, 2011.

- Los sistemas aislados: el Perú tiene gran parte del territorio interconectado mediante líneas de alta tensión, quedando una parte sin interconectar por diversos motivos de allí el nombre de sistemas aislados son clasificado según su tamaño son sistemas aislados mayores o menores y fuente primaria cuando tienen origen hidroeléctrico, térmico o mixto cuenta con potencia máxima anual demandada superior a 3000 kW (3 MW) y el menor con máxima anual de 3000 kW o menor.
- La Distribución Eléctrica en el Perú
- Economías de densidad: también llamada economía de escala y sobre la reducción de costos medios a medida que se incrementa la densidad, la densidad puede estar asociado a la proximidad de los usuarios o a los parámetros de consumo.

Figura 26. Densidad del sistema de distribución



**Fuente:** Adaptado de generación de electricidad (p. 94). A. Dammart,2011.

- Empresas de distribución eléctrica: a nivel nacional se tienen empresas de distribución eléctrica que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 9. Empresas de distribución eléctrica

---

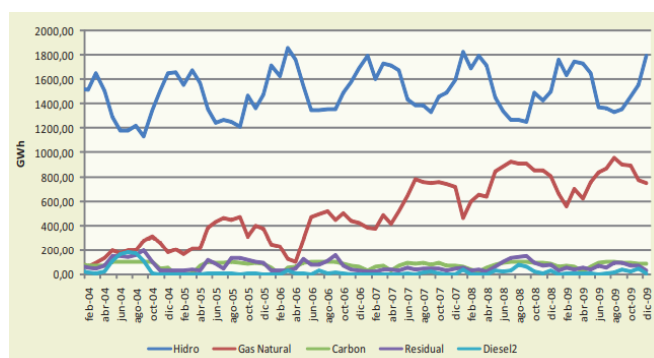
<b>Empresas de Distribución Eléctrica</b>
Luz del Sur S.A.A. – LUZ DEL SUR
Empresa de Distribución Eléctrica de Lima Norte S.A. A.–EDELNOR
Empresa de Distribución Eléctrica Cañete S.A. – EDECAÑETE
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Centro S.A. – ELECTROCENTRO
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Sur Medio S.A.A. – ELECTRO SUR MEDIO (ESMSAA)
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Oriente S.A. – ELECTRO ORIENTE
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A. – ELECTRONORTE (ENSA)
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Sur Este S.A.A. – ELECTRO SUR ESTE
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electronoroeste S.A. – ELECTRONOROESTE (ENOSA)
Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad de Puno S.A.A. – ELECTRO PUNO
Empresa Concesionaria de Electricidad de Ucayali S.A. – ELECTRO UCAYALI
Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. – SEAL
Empresa de Servicio Público de electricidad Electro Norte Medio S.A. – HIDRANDINA
Consorcio Eléctrico Villacurí S.A.C. – COELVISAC
Proyecto Especial Chavimochic – CHAVIMOCHIC • Electro Tocache S.A. – ELECTRO TOCACHE
Servicios Eléctricos Rioja S.A.– SERSA
Electro Pangoa S.A.– EPASA
Empresa de Servicios Eléctricos Municipales de Paramonga S.A. – EMSEMSA
Empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba S.A. – EMSEUSA

---

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 96). A. Dammartt,2011.

- Descripción de las principales distribuidoras en el Perú: contamos con 4 principales empresas de distribución en el país
  - a. Luz del Sur: se encarga de la zona sur – este de lima con un área de 300km<sup>2</sup> con 30 entre parciales o totales.
  - b. Edelnor: se encarga de la zona norte de Lima Metropolitana, la provincia constitucional del Callao y las provincias de Huaura, Huaral, Barranca y Oyón cubriendo un espacio aproximado de 2440 km<sup>2</sup>.
  - c. Edecañete: se encarga de la zona sur de Lima cubre un espacio aproximado de 900 km<sup>2</sup>
  - d. Electro Ucayali: abarca un espacio de 102 400 km<sup>2</sup> de la región de Ucayali abarca 3 sistemas eléctricos de coronel Portillo, Padre Abad y Atalaya.
  
- Estadísticas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)
- Producción de energía: entre los años 2004 y 2009 se tuvo un incremento del 47.78% de la producción de energía en el Perú esto se da como consecuencia por la mayor producción de gas natural, además las fuentes térmicas se han incrementado en desmedro de las fuentes hidroeléctricas, alcanzando su participación máxima del 89,37 %, en el mes de abril 2006, 50,65% en septiembre del 2008, 75,40% para el período 2004-2007 y disminuyendo a 64,07% en los años siguientes, sin embargo con la energía térmica para el 2009 cuenta con una participación de 32,60%.

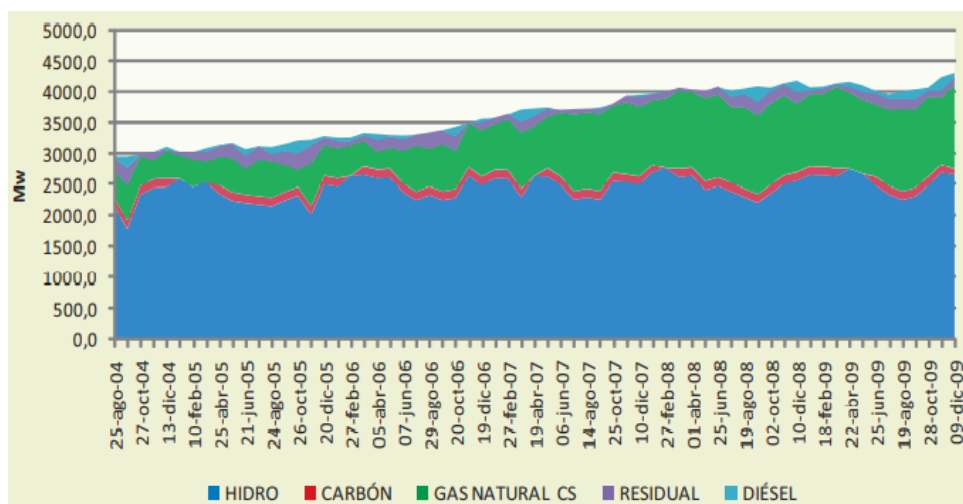
Figura 27. Producción eléctrica según tipo de fuente de energía



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 97). A. Dammartt,2011, Osinerning

- Demanda de energía: tiene un crecimiento de 43.96% entre el periodo julio de 2004 a diciembre de 2009, con nivel mínimo de demanda de 1748.5 GWh en febrero de 2005 y un máximo de 2659.2 GWh en diciembre 2009 mediante energía base, media y punta, cubriéndose así la demanda con una participación de 30%, 50% y 20%.
- Máxima demanda y potencia firme: se ha verificado un crecimiento en promedio entre 2004-2006 de 3175.63 MW a 4322.4 MW en diciembre 2006 con un incremento de 46,06% cubriendo las demandas por diferentes tecnologías.

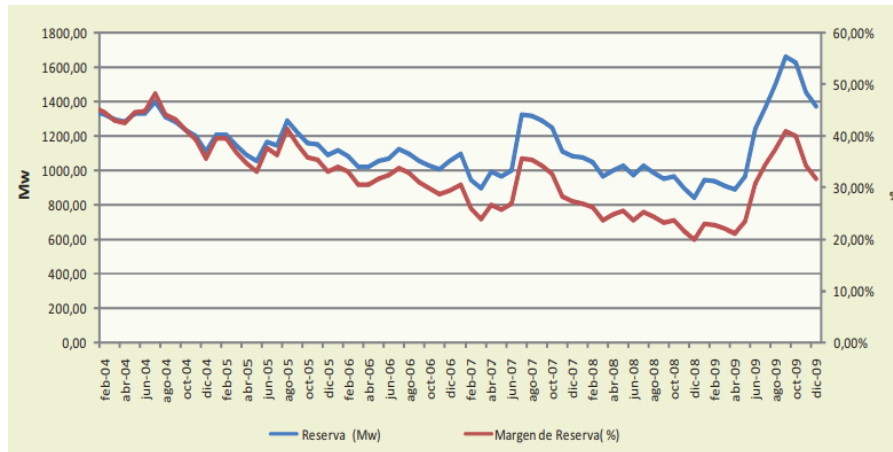
Figura 28. Despacho de generación para el día de máxima demanda de cada mes



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 98). A. Dammart, 2011, Osinergmin

- Reserva y margen reserva: los niveles de reservas y márgenes han variado con el transcurso de los meses comparados de inicio a fin, teniendo incremento de reserva de 27.65 MW y una disminución del margen de reserva de 45,46% a 31,76%.

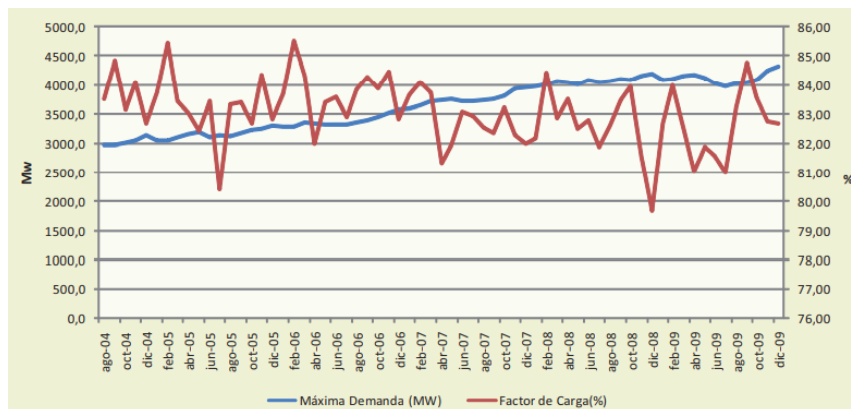
Figura 29. Reserva y margen de reserva



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 99). A. Dammarth,2011, Osinermin

- Factor de carga: es el que registra los comportamientos fluctuantes durante el periodo de estudio en tanto que el crecimiento de la demanda ha registrado variaciones de 79,69% hasta 85,54%, teniendo un promedio de 83,06% durante el periodo de análisis.

Figura 30. Máxima demanda y factor de carga

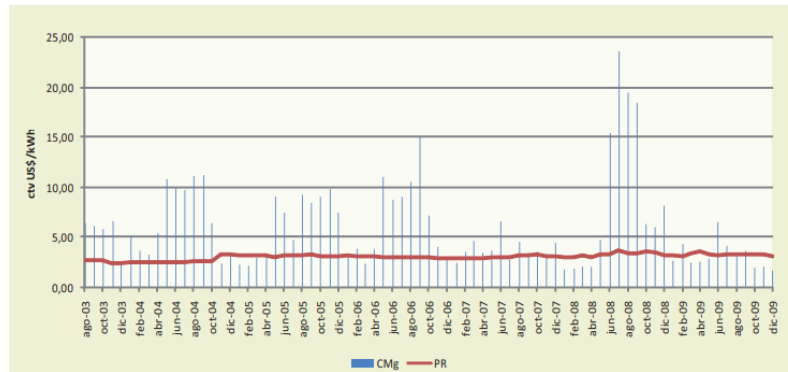


Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 100). A. Dammarth,2011, Osinermin

- Costo marginal y precio regulado ponderados: el precio regular y costo marginal ponderado han sido registrados en el tiempo con una diferencia entre ellos de 19.96 ctv US\$/kWh en julio de 2008, con una diferencia mínima de 0.03 ctv US\$/kWh en el 2003.



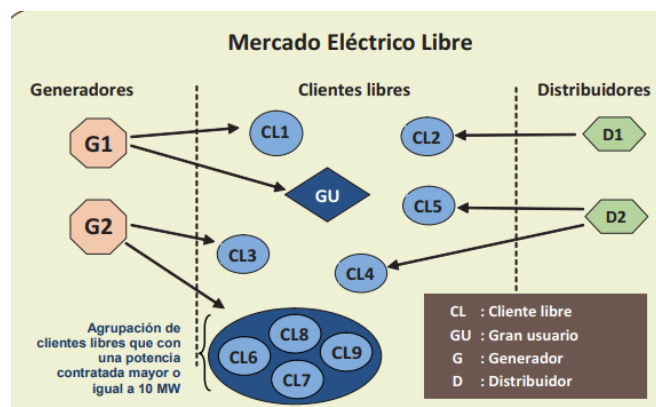
Figura 31. Costo marginal y precio regulado ponderados



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 101). A. Dammartt, 2011, Osinergrmin

- El Mercado Libre de la Electricidad
- Clasificación de los usuarios: libres y regulados los cuales fueron regulados mediante el Decreto Supremo N° 022-2009-EM, en donde se considera como usuarios libres a los que no están sujetos a regulación de precio y pueden negociar los precios, y usuarios regulados están sujetos a tarifas que son reguladas y/o supervisadas por el OSINERGMIN.
- Agentes que participan en el mercado libre de electricidad: se ha considerado 3 tipos de agentes que son los generadores, los distribuidores y los clientes libres que tienen la facilidad de contratar con el proveedor que les convenga.

Figura 32. Agentes que participan en el mercado libre de electricidad



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 101). A. Dammartt, 2011, Osinergrmin

- Empresas participantes en el mercado libre: hasta diciembre 2009 se contaba con 257 usuarios libres, 18 empresas de generación eléctrica y 12 empresas de distribución.

Tabla 10. Empresas generadoras que participan en el mercado libre

Empresas de Generación Eléctrica
Empresa de Generación Eléctrica Atocongo S.A. – ATOCONGO
Empresa de Generación Eléctrica Cahua S.A. – CAHUA
Chinango S.A.C. – CHINANGO
Consorcio Energético Huancavelica S.A. – CONENHUA
Empresa de Generación Eléctrica de Lima S.A. – EDEGEL
Empresa Eléctrica de Piura S.A. – EEPISA
Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. – EGASA
Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA
Empresa de Generación Eléctrica Nor Perú S.A. – EGENOR
Empresa Electricidad de los Andes S.A. – ELECTROANDES
Empresa Electricidad del Perú S.A. – ELECTROPERÚ
Energía del Sur S.A. – ENERSUR
Empresa de Generación San Gabán S.A. – SAN GABÁN
Shougang Generación Eléctrica S.A.A. – SHOUGESA
Sociedad Minera Corona S.A. (Div. Energía)
Sudamericana de Fibras S.A. – SDF ENERGÍA
Termoselva S.R.L. – TERMOSELVA

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 104). A. Dammart,2011, Osinergmin

**Tabla 11:** Empresas de distribución que participan en el mercado libre

---

**Empresas de Distribución Eléctrica**

---

Consorcio Eléctrico de Villacurí S.A.C. – COELVISAC

Eléctrica Ede Cañete S.A. – EDECAÑETE

Edelnor S.A.A. – EDELNOR

Electro Puno S.A.A – ELECTRO PUNO

Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Sur Este S.A.A –  
ELECTRO SUR ESTE

Electro Sur Medio S.A.A. – ELECTRO SUR MEDIO

Empresa de Distribución Eléctrica de Ucayali S.A.A. – ELECTRO UCAYALI

Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Centro S.A. –  
ELECTRO CENTRO S. A

Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electronoroeste S.A. –  
ELECTRONOROESTE

Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A.A –  
ELECTRONORTE

Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electro Norte Medio S.A.  
– HIDRANDINA

Luz del Sur S.A.A. – LUZ DEL SUR

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. – SEAL

---

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 101). A. Dammartt,2011, Osinergmin

- Comportamiento del mercado libre de electricidad: se denomina así a la cantidad de usuarios atendidos por las empresas que generan electricidad lo que sucede en caso contrario con los clientes libre que fueron atendidos por las empresas considerando que los usuarios libres han sido estables.
- Estadísticas del mercado libre por tipo de empresa: se realizó un muestreo en el mercado entre los años 2003 y 2009, dividiéndose en los siguientes grupos:
  - a. Número de clientes libres: hace referencia a la cantidad de cliente libres que han aumentado en el período analizado (5,33%).

Tabla 12. Número de clientes libre

<b>Tipo de Empresa</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>Var. % 2003-2009</b>
Generadoras	79	82	71	70	88	100	105	32.91%
Distribuidoras	165	159	163	149	148	147	152	-7.88%
<b>Total</b>	<b>244</b>	<b>241</b>	<b>234</b>	<b>219</b>	<b>236</b>	<b>247</b>	<b>257</b>	<b>5.33%</b>

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 105). A. Dammartt,2011, Osinergmin

- b. Número de puntos de suministro de energía: se ha visto un cambio en el número de suministros de clientes libres acerca de las empresas generadoras y distribuidoras.

Tabla 13. Número de clientes libre

<b>Tipo de Empresa</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>Var. % 2003-2009</b>
Generadoras	86	93	83	84	103	114	118	37.21%
Distribuidoras	165	159	163	152	151	149	154	-6.67%
<b>Total</b>	<b>251</b>	<b>252</b>	<b>246</b>	<b>236</b>	<b>254</b>	<b>263</b>	<b>272</b>	<b>8.37%</b>

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 106). A. Dammartt,2011, Osinergmin.

- c. Ventas de energía: entre los años 2003 y 2009 la cantidad de ventas totales fueron aumentando se tuvo un crecimiento de 37,01%, con un

aumento anual promedio de 13,81%, en las empresas de venta de energía en el mercado libre se tuvo un crecimiento acumulado de 44,43%.

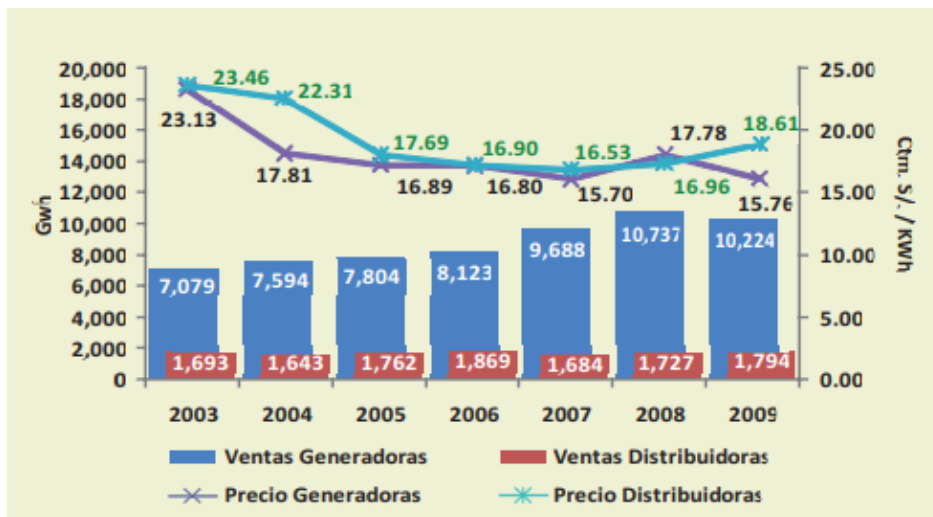
Tabla 14. Ventas de energía (GWh)

Tipo de Empresa	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Var. % 2003-2009
Generadoras	7,079	7,594	7,804	8,123	9,688	10,737	10,224	44.43%
Distribuidoras	1,693	1,643	1,762	1,869	1,684	1,727	1,794	5.98%
<b>Total</b>	<b>8,772</b>	<b>9,236</b>	<b>9,567</b>	<b>9,992</b>	<b>11,372</b>	<b>12,464</b>	<b>12,018</b>	<b>37.01%</b>

Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 107). A. Dammartt,2011, Osinergmin.

- d. Precio medio: este promedio ha presentado una tendencia decreciente tanto de las empresas generadores y distribuidoras en total una pérdida de -30,7%, siendo la disminución acumulada de 31,9% y 20,7%, siendo el precio de las empresas generadores menores que las distribuidoras.
- e. Relación entre precios medios y energía vendida: se ha expresado en nuevo sol por kWh y la cantidad vendida expresada en GWh por tipo de empresa.

Figura 33. Precio medio del mercado libre por tipo de empresa



Fuente: Adaptado de generación de electricidad (p. 111). A. Dammartt,2011, Osinergmin.

- f. Facturación: es el resultado sobre los precios y los volúmenes de venta.
- g. Grandes Usuarios: se viene normalizan mediante la Ley N° 28832 acerca de los grandes usuarios libres.

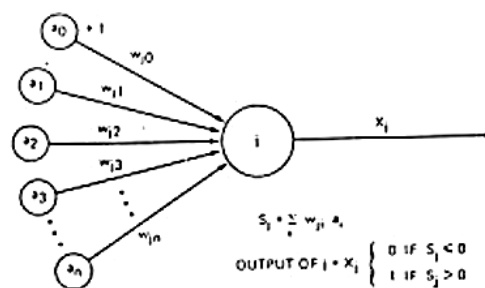
➤ Redes Neuronales

Según el libro Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (Basogain Olabe), ha definido a la selección de las redes neuronales artificiales tema: se realiza la clasificación mediante aplicaciones de Predicción, Clasificación, Asociación, Conceptualización, Filtrado y Optimización de los cuales los tres primeros tipos de aplicaciones requieren un entrenamiento supervisado.

- Las primeras redes neuronales artificiales
  - Perceptron
  - Arquitectura: también llamado mapeo de patrones para realizar la clasificación de modelos mediante del aprendizaje supervisado mediante los valores binarios (0,1) y sus categorías, presentando 2 capas de unidades procesadoras (PE), y solo 1 presenta capacidad de adaptar o modificar los pesos, también se puede adicionar capas las cuales no puede modificar las conexiones, inicia  $a_i$  continua por la conexión con la neurona  $j$  asignándole un peso de valor  $w_{ji}$ , para lo cual se realiza la suma ponderada acerca de las entradas  $S_j = \sum a_i w_{ji}$ . Se debe en cuenta si la suma de entradas ponderadas es mayor o menor que un cierto valor umbral y genera la salida "  $x_j$ " según la ecuación anterior

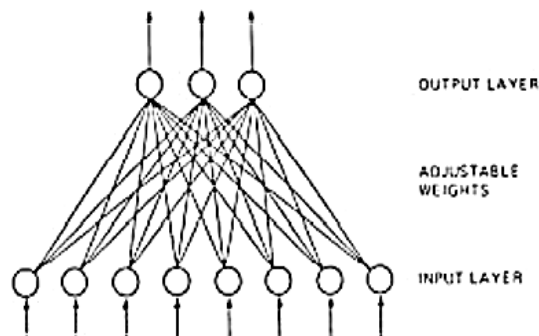
$$\text{si } S_j > 0 \text{ entonces } X_j = 1, \text{ si } S_j \leq 0 \text{ entonces } X_j = 0$$

Figura 34. Unidad Procesadora Básica del Perceptrón



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 26), X. Basogain Olabe.

Figura 35. Red Perceptrón de dos Capas



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 26), X. Basogain Olabe.

Se realiza un entrenamiento para presentar la red que cuenta con parejas de vectores secuenciales con el fin de llegar a un conjunto de valores de pesos de la red correspondientes al conjunto de entrenamiento luego del entrenamiento ya no pueden ser modificados, para realizar la adaptación se puede realizar mediante siguiente regla para el aprendizaje del Perceptron.

$$W_{j\text{inuevo}} = W_{j\text{iviejo}} + C (t_j * x_j)$$

donde:

$t_j$ : valor de la salida deseada

$x_j$ : valor de salida producida por la unidad procesadora

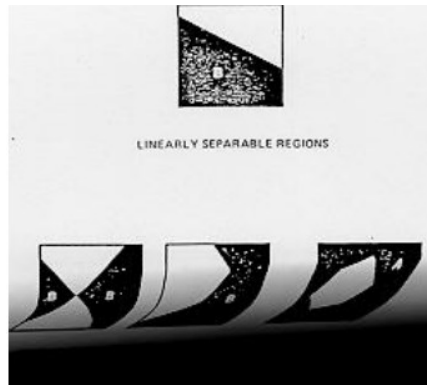
$a_i$ : el valor de la entrada  $i$

$C$ : el coeficiente de aprendizaje.

Este es un proceso secuencial que mejora con cada iteración hasta estabilizar a este proceso se denomina red convergente el cuenta con 2 posibilidades la primera es cuando se haya aprendido correctamente el proceso y la otra cuando no haya comprendido el proceso.

- Separación Lineal: un de los mayores problemas encontrado a pesar del éxito obtenido, es la imposibilidad de adaptar los pesos de todas las capas, sin poder diseñar un algoritmo con el fin de propagar las correcciones de los pesos mediante las redes de multicapa, su principal limitación es que la unidad de salida solo puede clasificar patrones linealmente separables es decir que las clases se puede separar en 2 clases mediante una línea.

Figura 36. Separabilidad Lineal



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 28), X. Basogain Olabe.

- Adaline – Madaline

Arquitectura de Adaline usa un dispositivo lógico el cual realiza una suma lineal acerca de las entradas generando una función umbral para el resultado de la suma, presentando una configuración constituida por dos o más unidades Adaline, se ha analizado diferentes variaciones sobre los algoritmos de aprendizaje de la Adaline, y Madaline con filtros adaptativos de eliminación de ruido y reconocimiento de patrones de señales.

- Estructura Adaline: con la unidad procesadora es representada por un círculo con el símbolo sumatorio implementa una función umbral, en cuanto a las conexiones de cada entrada se asocian a un valor de ponderación llamado peso  $w_i$ , cuentan con un mecanismo de ajuste de los pesos, consiste en la diferencia entre el valor de la salida y el valor esperado, por lo que esta unidad procesadora va actuar como un sumador y después realiza la función umbral, la salida de Adaline es  $\pm 1$  solo va permitir valores 0 y 1 según la ecuación:

$$1 \text{ si } S = \sum_i a_i w_i \geq 0$$

$$x_j =$$

$$-1 \text{ si } S = \sum_i a_i w_i < 0$$

El entrenamiento se realiza repetidamente con una serie de parejas de entradas y salidas, con el objetivo de que durante la adaptación se produzca la adaptación a la salida como propia para lo cual se usa la siguiente regla de Widrow-Hoff expresada en la ecuación:



$$\Delta w_i = \eta a_i (t * x)$$

Donde:

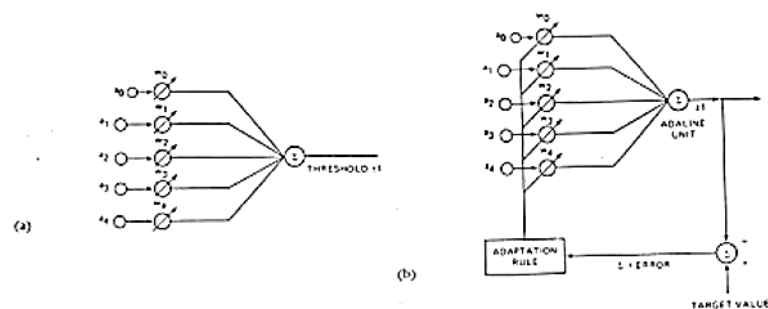
$\eta$ : constante de aprendizaje

$a_i$ : salida de la unidad  $i$

$t$ : salida deseada

$x$ : salida de la unidad Adaline

Figura 37. Red Adaline



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 29), X. Basogain Olabe.

- Estructura Madaline: cuenta con una capa de unidades Adaline las cuales se encuentran conectas a la unidad simple de Madaline, existe una conexión entre la capa de entra y la de las unidades Adaline las cuales tienen un peso ajustable asociado a cada una de ellas, se debe tener en cuenta acerca de las conexiones entre la capa de Adaline y la unidad Madaline no tienen asociado ningún peso, la unidad Adaline transmite su salida (-1 ó +1) a la unidad Madaline la cual emplea una regla para obtener su salida y si la mitad o más presenta un valor +1 la salida de Madaline es +1, caso contrario la red Madaline es -1.
- Red backpropagation
  - Introducción

Dentro de los diseños de algoritmos de entrenamiento de redes multicapa no se tiene ninguno tipo con éxito, luego de la comprobación de las limitaciones de una capa, se realizó la invención del algoritmo Backpropagation usando las redes

neuronales artificiales, la cual se considera un método de entrenamiento de redes multicapa, su proceso se el entrenamiento de capas ocultas.

- Arquitectura de la red backpropagation

Arquitectura de la red backpropagation : se da inicio por el lado izquierdo a su lado derecho se encuentran las unidades que reciben salida procesadas las cuales están situadas en el centro, la unidad procesadora se caracteriza por realizar una suma ponderada de las entradas.

- Algoritmo de entrenamiento

Usa un método de entrenamiento supervisado, en la cual se red se presenta en pareja de patrones, en donde los patrones de entra emparejado cuenta con el patrón de salida deseada, en cada una de las presentaciones de cada peso son ajustados de tal manera que disminuyan el error entre la salida deseada y la respuesta de la red, este algoritmo conlleva a una fase llevar hacia adelante y la siguiente hacia atrás, estas fases se realizan por cada sesión de entrenamiento.

- Propagación hacia Adelante inicia al presentar un patrón en la entrada de red, cada uno de estas unidades corresponde con un elemento del vector patrón de entrada las cuales toman el valor de cada elemento del patrón de entrada calculando su valor de activación o nivel de salid de la primera capa por lo cuse va usara la unidad procesadora j obtiene la cantidad  $S_j$  según la ecuación

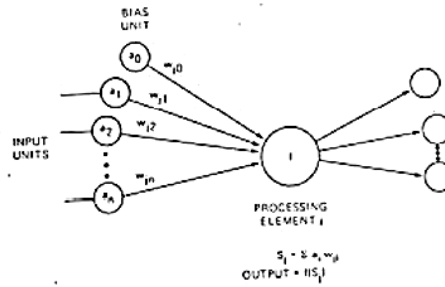
$$S_j = \sum_i a_i w_{ji}$$

generando la salida o nivel de activación según la ecuación

$$\text{Salida} = f(S_j)$$

La función  $f$  es una función umbral genérica, de donde se destaca la función Sigmoid y la función Hiperbólica.

Figura 38. Fase de Propagación hacia Adelante



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 79), X. Basogain Olabe.

- Propagación hacia Atrás: luego de la propagación hacia adelante, inicia la fase de corrección o propagación hacia atrás, según los cálculos acerca de las modificaciones de los pesos sobre las conexiones se inicia por la capa de salida y luego hacia las otras capas de la red hasta llegar a la entrada, dentro de los ajustes se clasificaron 2 grupos ajuste de unidades procesadoras de la capa de salida y ajuste de unidades procesadoras de las capas ocultas
- Ajuste de Pesos de la Capa de Salida: es relativamente fácil porque existe y se conoce el valor deseado por cada salida, cada una de las unidades de la capa de salida produce un número real como salida para luego evaluar con el valor deseado, luego de obtener el resultado de las comparaciones se calcula el valor de error  $\delta_j$  mediante la siguiente ecuación

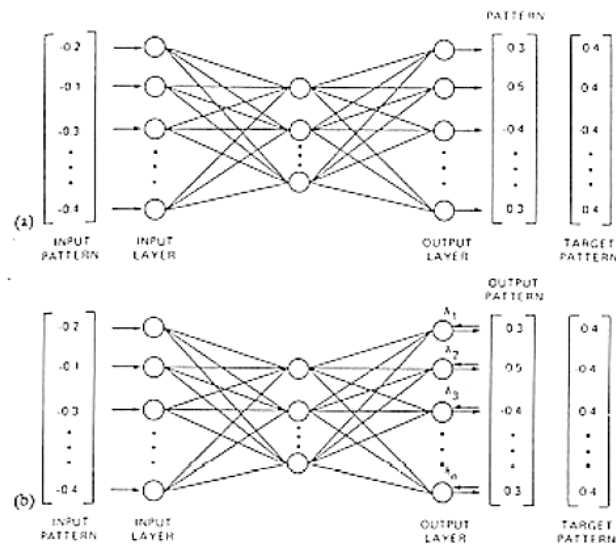
$$\delta_j = (t_j - a_j) f'(S_j)$$

Donde:

$t_j$ : el valor de salida deseado

$f'$ : la derivada de la función umbral  $f$ .

Figura 39. Cálculo de los valores de la Capa  $\delta_j$  de Salida



Fuente: Adaptado de Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones (p. 79), X. Basogain Olabe.

- Aplicaciones de la red backpropagation

Se usan en aplicaciones que incluyen clasificación de imágenes, síntesis de voz, clasificación de ecos de sonar, sistemas de base de conocimiento, codificación de información y muchos otros problemas de clasificación y problemas de percepción, se ha podido realizar mejoras por la combinación de algoritmos convencionales y una backpropagation, para los reconocimientos de voces y de formas con 2 dimensiones, siendo muy útil en las aplicaciones sobre identificaciones de números escritos a mano, lectura de caracteres escritos a mano, ordenamiento de partes en una producción industrial, inspección automática de defectos y procesado de imágenes médicas.

- Algoritmo Computacional

Es una secuencia de pasos ordenados en forma lógica, para poder solucionar un determinado problema, usando un lenguaje de programación.

### 2.3. Bases Conceptuales

Las bases conceptuales descritas con la finalidad de poder describir el constructor de la presente tesis, que está relacionado directamente con el instrumento diseñado para poder evaluar las variables que son objeto de estudio, relacionados con poder modelar el consumo de la energía eléctrica por parte de las principales ciudades del país, así como el crecimiento de la población como de la industria que nos llevan a poder describir un método donde estas variables puedan ayudar a poder estimar la demanda futura de la energía eléctrica en el país, los resultados de las mediciones que se realizará nos permitirá crear un modelo computacional, que será el aporte a la comunidad científica como para la población y autoridades encargadas con la gestión de los recursos energéticos en el país.

### 2.4. Definición de términos básicos:

- **Redes Neuronales Artificiales:** según (Basogain Olabe), es la unidad analógica a la neurona biológica considerada con un elemento procesador los cuales cuentan con entradas combinadas las cuales se combinan en una suma básica.
- **Comprensión de Imágenes:** según (Basogain Olabe) es la transformación de los datos de una imagen a una representación diferente que use menos memoria o se puede reconstruir una imagen imperceptible.
- **Reconocimiento de Patrones en imágenes:** (Basogain Olabe) es una aplicación típica acerca de la cómo clasificar los objetos que son detectados mediante un sonar.
- **Procesador de Señal:** según (Basogain Olabe) son los problemas que se solucionan mediante los cálculos tradicionales que se van requiriendo durante un proceso exponencial con cierto número de entradas.
- **Año Seco:** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) hacer referencia a los años hidrológicos con poca precipitación, que se encuentran con un porcentaje entre 60% y 80% y en los casos de extremadamente secos se refiere entre un 80% y 100%.

- **Año humedo:** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) se denomina así a los años hidrológicos con bastante precipitación con un porcentaje de humedad entre 40% y 60% y en años extremadamente húmedos llega a un promedio entre 0% a 20%.
- **Año normal o promedio:** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011), se hace referencia a los años hidrológicos con una precipitación promedio anual comparado con los criterios históricos con un porcentaje que no excede entre el 40% y 60%.
- **Reservas probadas :** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) se refiere a la probabilidad de existencia alta que se tenga un elevado número de incertidumbre cercano al 100%.
- **Reserva no probadas:** según según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) son aquellas reservas probables o posibles, con un nivel de incertidumbre menor comparada con las reservas probadas.
- **Energía primaria comercial:** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) es la energía que usada en la oferta y demanda del mercado energético usado para la producción en otras fuentes de energía.
- **Energía primaria no comercial:** según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) se refiere a la energía que no se oferta ni demanda en el mercado usado para el propio consumo.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### Hipótesis General

- El algoritmo computacional basado en redes neuronales realiza el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en el Perú
- El algoritmo computacional basado en redes neuronales no realiza el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en el Perú

##### Hipótesis Específicas

El diseño de un algoritmo computacional basado en redes neuronales permite el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en Mega Watts en el Perú.?

¿Será posible realizar un análisis mediante un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo del consumo de energía por hora, por horarios del día, por meses del año y por estaciones del año??

##### 3.1.1. Operacionalización de variables

###### ➤ *Variable 1: Consumo de Energía Eléctrica*

###### ▪ **Dimensiones: Consumo de energía eléctrica**

Consumo de Energía Eléctrica según (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011), es la cantidad de energía usada por cada suministro según un periodo determinado por el cual se genera una facturación al aplicar un precio por kilovatio hora (kWh), según se la empresa que las brinda.

- **Indicadores:**
- **Consumo en MegaWatts** según el libro (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) es una equivalencia a la potencia de millón de vatios o de mil kilovatios la cual varía según la función o potencia del consumo.

- **Horarios del día según** (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) durante el consumo de la energía se cuánto con horario denominamos hora punto de mayor consumo por que el precio se alterara según el horario de consumo.
- **Meses del año según** (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011), ya que tiene meses con mayor precipitación y viceversa esto va influenciar en el consumo y el precio del servicio.
- **Estaciones del año según** (Dammert Lira, Molinelli Aristondo, & Carbajal Navarro, 2011) influenciaran con el consumo de la electricidad ya que se en los meses de mayor calor el consumo es mayor y todo lo contrario en la época de invierno

➤ *Variable 2:* **Redes Neuronales**

Según el libro de Redes Neuronales Artificiales y sus aplicaciones de (Basogain Olabe) se define a las redes neuronales como inspiración de las redes neuronales biológicas del cerebro humano en cual cuenta con elementos organizados parecidos al cerebro humano, las cuales cambian en su comportamiento según su entorno o necesidad las cuales cuentan con entradas y salidas las cuales se generalizan de forma automática por su estructura y naturaleza.

- Dimensiones:

**Medición del rendimiento de la Red Neuronal según** (Basogain Olabe) las redes son algoritmos de aprendizaje automático los cuales proporcionan una mejor precisión en muchos de los casos en otra no satisfacen por lo que cada una de las aplicaciones cuenta con un ajuste según sus necesidades buscando el mejor rendimiento del modelo.

- Indicadores:

- **Sensibilidad** según (Basogain Olabe) se trata de interpretación de los pesos de las redes neuronales mediante los métodos conocidos la cual se basa en medición del efecto que observa una salida la cual es altera por la entrada



cuando se observa mayor carga en la salida mayor es la sensibilidad de entrada.

- **Especificidad** según (Basogain Olabe) se trata el porcentaje que se obtiene como resultado negativo acerca de una prueba ya que se sabe que ninguna cuenta con un 100% de especificidad ya que siempre se puede obtener un falso positivo.

Tabla 15. Variables, dimensiones e indicadores

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Cálculo del indicador</b>
<b>Consumo de Energía Eléctrica</b>	Consumo de energía eléctrica	Consumo en Mega Watts por:	Medido y calculado en Watts:
		La hora del día	La hora del día
		El mes del año	El mes del año
		Las estaciones del año	Las estaciones del año
<b>Redes Neuronales</b>	Medición del rendimiento de la Red Neuronal	Sensibilidad	$VP / (VP + FN)$
		Especificidad	$VN / (VN + FP)$

Fuente: Elaboración propia

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), podemos definir a la presente tesis como una investigación monometódica es decir solo usa un solo método cuantitativo.

### **4.1. Diseño metodológico**

#### **Tipo de la Investigación**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio) por ser podemos definir que el presente trabajo será considerado aplicado ya que se va aplicar los conceptos de las redes neuronales para realizar la predicción del consumo de energía eléctrica, aplicada a los diferentes departamentos del Perú.

Se considera en el proceso investigación bibliográfica; como revisiones de artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado, libros, etc. Con respecto al tema, permitiendo soluciones de diferentes métodos

Adicionalmente se considera investigación explicativa, analizando el tema de demanda eléctrica, consumo eléctrico, etc. en el país

#### **Diseño de la Investigación**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), se define como una tesis de diseño preexperimental ya que se realizar un estudio exploratorio, pero los resultados deben ser observados con precaución ya que se trata de una descripción acerca de la situación problemática del consumo de energía eléctrica antes y después y finalmente se realizará una comparación con una referencia estática que es el consumo de energía eléctrica en otros países.

## **4.2. Método de investigación.**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), para la presente investigación lo definiremos como el método cuantitativo o método tradicional ya que se realizará una evaluación acerca de las características.

Considerando los datos obtenidos se debe realizar el desarrollo de la red neuronal artificial (ANR) que implica los siguientes pasos

- a) Acceder a los datos y prepararlos
- b) Crear la red neuronal
- c) Configurar las entradas y salidas de la red
- d) Ajustar los parámetros de la red (las ponderaciones y tendencias) para optimizar el rendimiento
- e) Entrenar la red
- f) Validar los resultados de la red
- g) Integrar la red en un sistema de producción (demanda eléctrica)

## **4.3. Población y muestra.**

### **Población**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), se ha considerado como población al conjunto de candidatos para formar parte del estudio, para el caso de la presente tesis la población está conformada por las principales ciudades de País, por la característica de tener datos del consumo de energía eléctrica.

### **Muestra**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), en donde se define a la muestra como la parte de la población que será utilizada en la investigación, para la presente tesis la muestra será considerada por las siguientes ciudades del país:

- Lima
- Arequipa
- Tacna
- Ica
- Cuzco
- Puno
- Loreto
- Junin
- Cerro de pasco
- Chiclayo
- Piura

#### **4.4. Lugar de estudio.**

En el presente trabajo de investigación, el lugar de estudio está representado por el lugar físico donde se realizará la recuperación de datos, por la naturaleza del estudio cuenta con un análisis con envergadura por lo que no se cuenta con un lugar específico de estudio, se realizar un mecanismo para poder modelar el consumo de energía eléctrica.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), se define al instrumento de recolección de dato mediante los cuales permite recopilar la información necesaria para el análisis de las investigaciones, en la presente investigación, el instrumento de recolección de datos es considerado las fichas de observación, donde se registrará el consumo de energía eléctrica de cada distrito así como su población en un año indicado como también el consumo realizado por cada mes del año.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos.**

Según el libro metodología de la investigación (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio), de define el análisis estadístico de datos, el cual estará compuesto por el ordenamiento lógico de la información del consumo de energía

eléctrica por cada distrito de la ciudad de Lima, en este caso, los datos serán ordenados por distrito, por año y por mes, el procesamiento de los datos se realiza en dos tiempos, el primero corresponde a los datos de entrenamiento, donde serán ingresados al algoritmo para que pueda aprender el comportamiento del consumo de energía eléctrica, el resultado es tener el algoritmo entrenado, en este caso podemos realizar predicciones con datos de entrenamiento para poder comprobar y validar la etapa de entrenamiento.

El segundo proceso se realiza realizando las predicciones de meses y años futuros, donde se tiene como característica la población estimada para esos años, el resultado de este proceso, es una cantidad de energía que corresponde al consumo que debería de tener en el mes y año seleccionado.

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

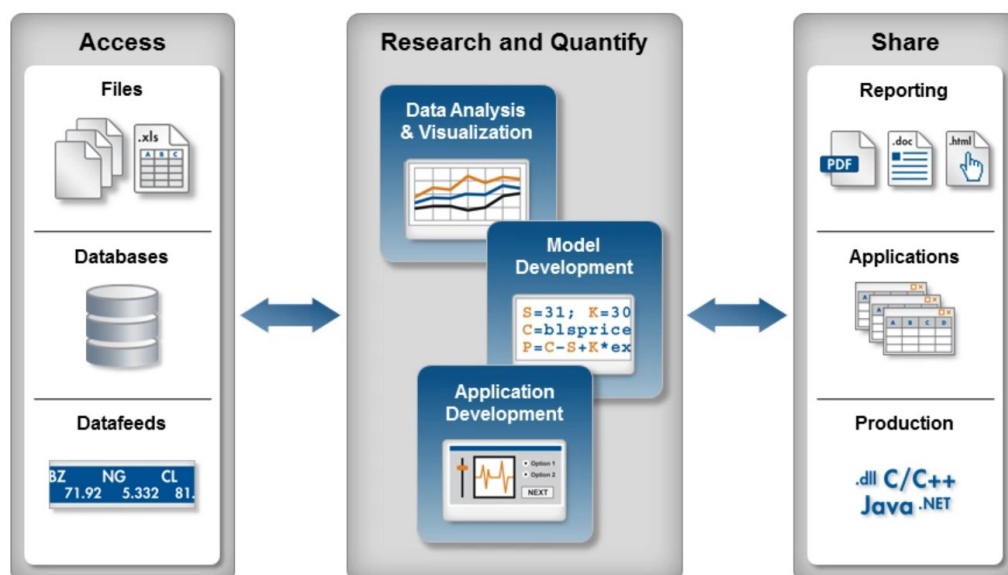
Los datos tratados son obtenidos de las bases de datos de sistemas de gestión energéticas, mismos que son de acceso abierto a investigadores interesados en tratar temáticas de proyecciones energéticas.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

Los resultados que se muestran a continuación son parte del algoritmo computacional obtenido basado en redes neuronales, cuya programación se encuentra en (Anexo 1). Mismo que ha seguido la siguiente lógica de diseño y según las teorías establecidas en el marco teórico.

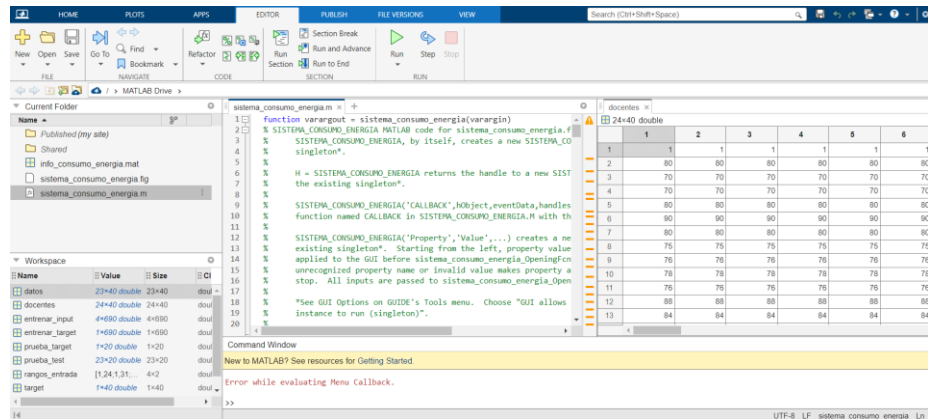
Figura 40. Modelo lógico del sistema



Fuente: Elaboración propia

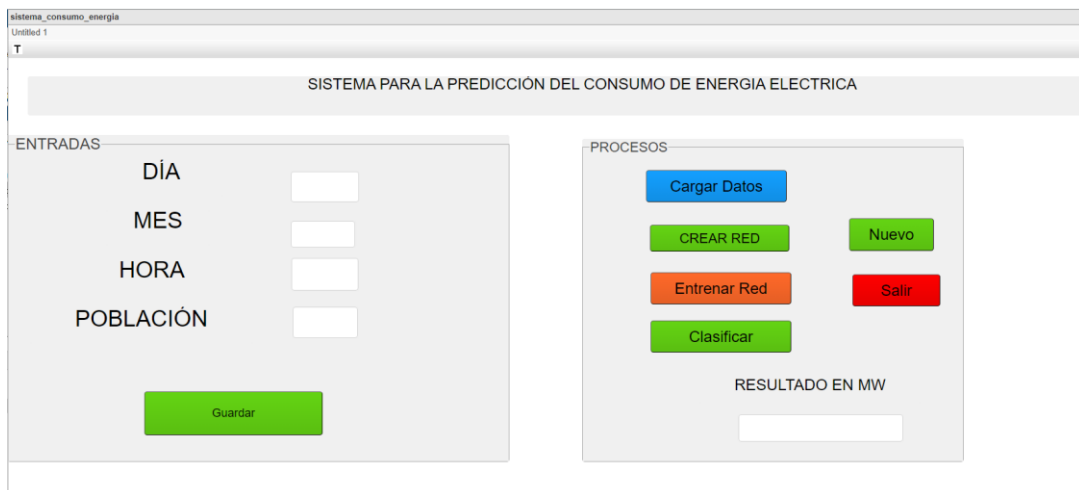
Se muestra la plataforma diseñada en Matlab, mediante la cual se pueden realizar las siguientes acciones: Cargar bases de datos referentes a los parámetros mostrados, creación de una red de análisis predictivo, entrenar la red neuronal, así como determinar el consumo en MegaWatts respecto a parámetros de entrada preestablecidos en la programación para una estimación del consumo energético eléctrico de una cantidad de población.

Figura 41. Programa ejecutado en Matlab



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Aplicativo para la predicción del consumo de energía eléctrica

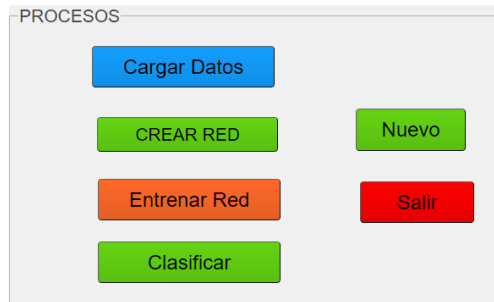


Fuente: Elaboración propia

En el aplicativo se pueden visualizar las siguientes funciones:

- Cargar datos: función mediante la cual se puede cargar archivos que contengan data acorde a la matriz de programación con el fin de poder realizar un entrenamiento
- Crear red: permite la creación de un análisis de predicción
- Entrenar red: Permite realizar un proceso de alimentación del comportamiento de una red en específico con el fin de elaborar reportes de proyección

- Figura 43. Zona de procesos del sistema

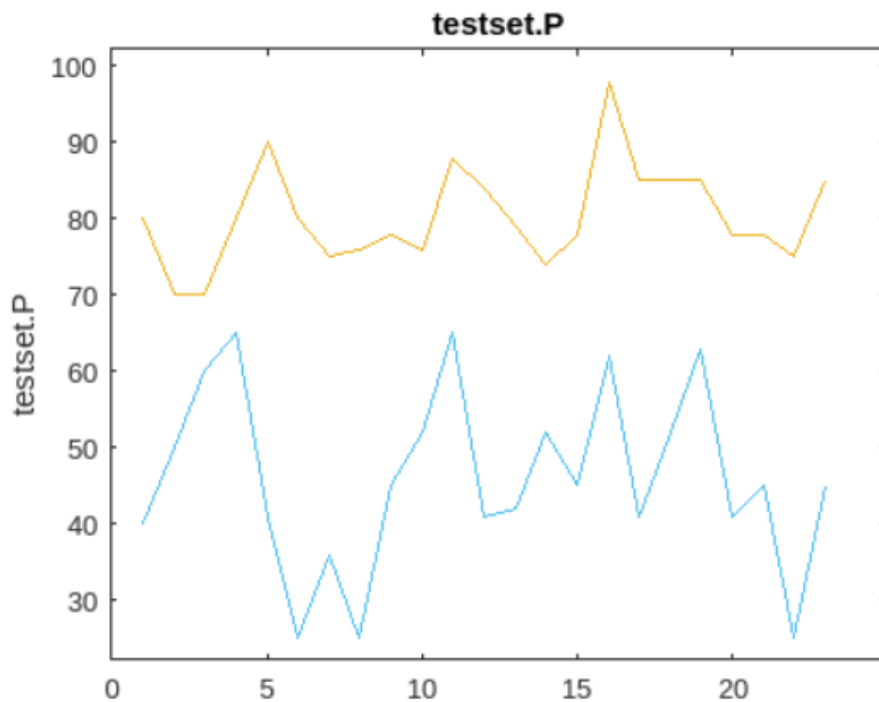


Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Resultados inferenciales

Se realizó la carga del histórico de la base de datos para la zona en estudio - sector Lima. con el fin de entrenar el sistema mediante los datos de año, día, hora y cantidad de consumo energético eléctrico en Megawatts.

Figura 44 Testeo de la data cargada



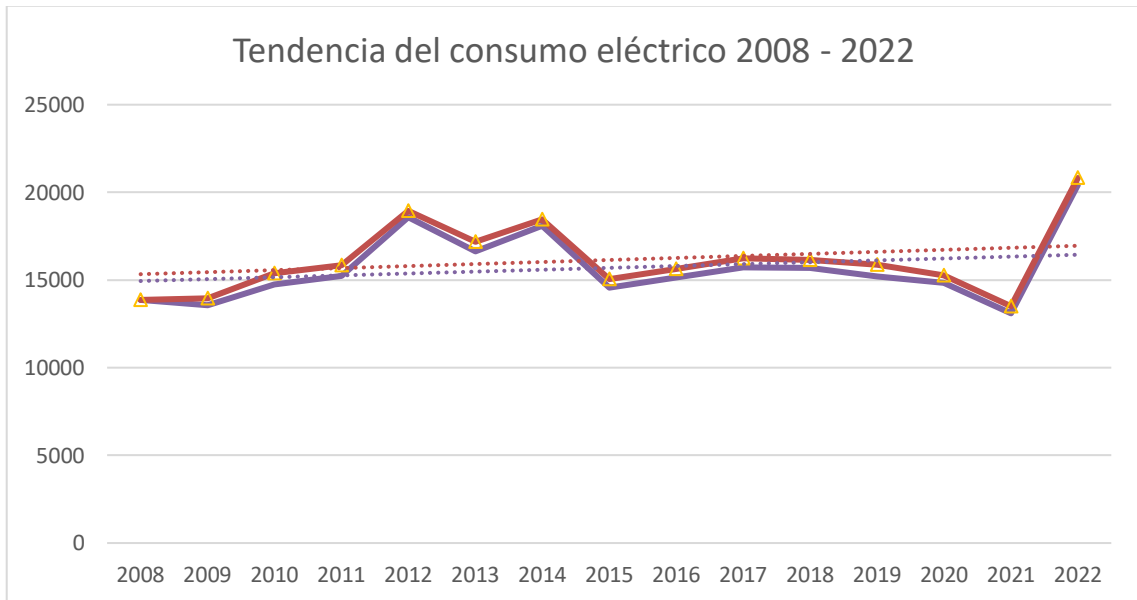
Fuente: Elaboración propia



Tabla 16. Valores medidos sobre población de sector Lima

	<b>Año</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>MegaWatts</b>
<b>AEP</b>	2008	1-Ene	22:00	13854
	2009	1-Ene	22:00	13970
	2010	1-Ene	22:00	15381
	2011	1-Ene	22:00	15848
	2012	1-Ene	22:00	18945
	2013	1-Ene	22:00	17177
	2014	1-Ene	22:00	18466
	2015	1-Ene	22:00	15040
	2016	1-Ene	22:00	15621
	2017	1-Ene	22:00	16243
	2018	1-Ene	22:00	16151
	2019	1-Ene	22:00	15859
	2020	1-Ene	22:00	15280
	2021	1-Ene	22:00	13508
	2022	1-Ene	22:00	20820

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

En el mismo sentido, se realizaron mediciones para otro sector, cabe señalar que el entrenamiento no solo estuvo basado en el

Tabla 17. Valores medidos sobre población de sector Lima

<b>Año</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>MegaWatts</b>
2008	1-Ene	22:00	13860
2009	1-Ene	22:00	13558
2010	1-Ene	22:00	14743
2011	1-Ene	22:00	15243
2012	1-Ene	22:00	18593
2013	1-Ene	22:00	16628
2014	1-Ene	22:00	18089
2015	1-Ene	22:00	14580
2016	1-Ene	22:00	15154
2017	1-Ene	22:00	15727
2018	1-Ene	22:00	15687
2019	1-Ene	22:00	15195
2020	1-Ene	22:00	14833
2021	1-Ene	22:00	13102

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo que la proyección fue la siguiente:

Tabla 18. Valores en proyección Estación 2022

<b>Estación</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Consumo</b>
2022	1-Ene	22:00	20415
2022	1-Ene	22:00	20358

Fuente: Elaboración propia

Donde la proyección fue menor al consumo realizado en esa estación, día y hora

#### **a) Base de Datos**

Los datos para realizar el proyecto son valores de consumo de potencia eléctrica tabulados de forma anual pertenecientes al sector Lima en el periodo de tiempo 2008 - 2021. Los datos son entregados por la empresa eléctrica particular y se presentan en la siguiente tabla 16

De la base de datos se analiza que los valores de mínimo y máximo consumo fueron en el año 2022 y el año 2008 que corresponden a 20820 y 13508 MW respectivamente. Estos valores mínimo y máximo de la serie de tiempo permiten realizar la normalización de los datos lo cual es muy importante para el procesamiento en la RNA.

Los valores de consumo de potencia eléctrica de los 14 años se presentan en la figura 43 como una curva que describe una serie en el tiempo, las fluctuaciones que presentan corresponden a las variaciones típicas de consumo.

b) **Preparación de datos.**

**Normalización de datos**

Los datos que se presentan en la serie de tiempo no pueden ser procesados directamente por la RNA, debido a que al tratar de procesar valores muy grandes tardaría mucho tiempo realizando los cálculos, retrasando el proceso y en el peor de los casos colapsando el sistema. Para evitar esto se realiza la normalización de los datos de entrada a valores en el intervalo 0 a 1, la fórmula utilizada para normalizar los valores es la siguiente:

$$Data1nor = \frac{[data1 - minData]}{[Datamax - Datamin]}$$

Donde:

Data1nor= valores normalizados

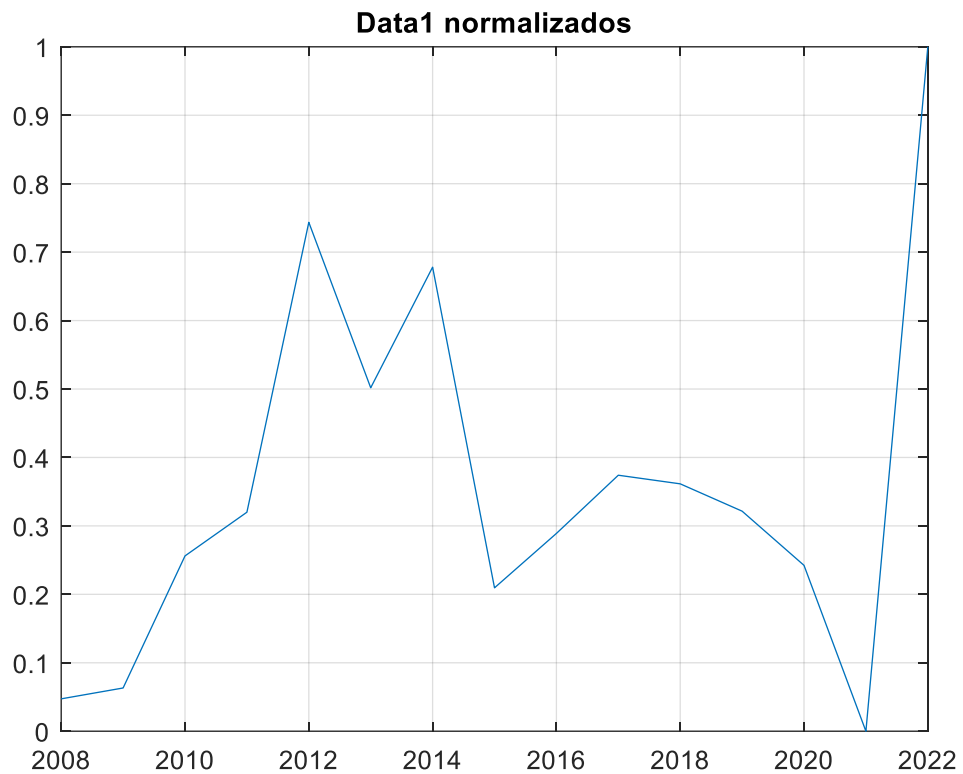
data1=Valores a escala inicial

Datamin= valor minimo de la serie

Datamx=valr maximo de la serie

Los datos de consumo de potencia eléctrica para los 72 meses normalizados se presentan en la

Figura 45 Testeo de la data cargada



Fuente: Elaboración propia

### c) Conjuntos de entrenamiento y de prueba.

Del total de datos mostrados en la serie de tiempo se dividen en dos grupos, de la siguiente manera: 85% del total de datos para el proceso de entrenamiento, que corresponde a los datos en el intervalo del año 1 al 10 ; y, el 15% restante para el proceso de prueba que corresponde a los datos de la serie de tiempo pertenecientes al intervalo de los años 11 al 15.

La división de los datos se realiza siempre considerando que el mayor porcentaje de datos es necesario para el entrenamiento y el porcentaje de datos restantes es muy importante para validar el desempeño de la RNA mediante la comparación de la proyección en el proceso de prueba, si se seleccionase el 100% de datos para el entrenamiento, no se podría validar si la proyección de la RNA es correcta, debido a que no se tendrían valores nuevos para probar la RNA.

Tabla 19. División de datos para entrenamiento y prueba

<b>Pasos</b>	<b>Numero de datos</b>	<b>%distribución datos</b>
<b>Entrenamiento</b>	15	85
<b>Prueba</b>	10	15
<b>Total</b>	5	100

Fuente: Elaboración propia

#### **d) Proceso de entrenamiento.**

Para realizar el proceso de entrenamiento se considera de forma adecuada el tamaño del vector de entrada, el cual contiene los datos como entrada para este proceso.

El tamaño del vector de entrada debe contener un patrón que marque una tendencia en el tiempo; asimismo, se debe contar con un vector de salida u objetivo que corresponde a la salida deseada de entrenamiento.

Durante el entrenamiento se generan errores al evaluar la salida de la RNA con la salida esperada, esto provoca que el algoritmo de entrenamiento modifique los parámetros relacionados al proceso, es decir, los pesos y bias de las neuronas de la o las capas ocultas y salida.

La matriz de entrada  $P$  ( patrón de entrada) y el vector de salida  $T$  ( salida deseada) están definidos en la Tabla yy , el tamaño de la matriz de entrada es de  $10 \times 15$ , y el vector de salida es de  $1 \times 48$ , es importante que las dos variables tengan la misma cantidad de columnas, debido a que cada columna de la matriz de entrada corresponde al patrón que describe cada valor del vector de salida.

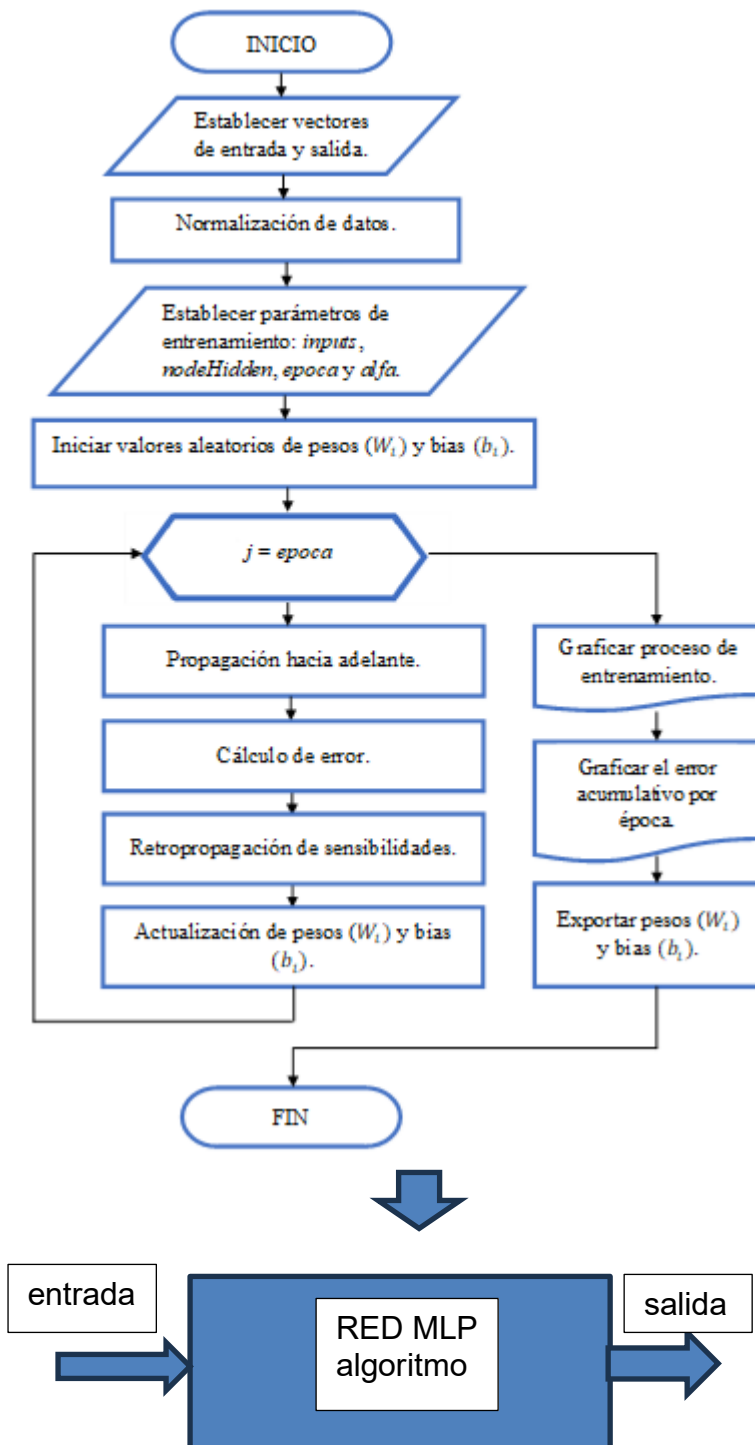
#### **e) Implementación de la Red Neuronal Artificial.**

Para implementar la RNA en el software MATLAB se debe realizar diagramas de flujo del programa para seguir la secuencia de la lógica de funcionamiento de la red neuronal.

Se desarrollo dos diagramas de flujo

# 1. Diagrama de flujo del proceso de entrenamiento

Figura 46 Diagrama del algoritmo de entrenamiento de la RNA



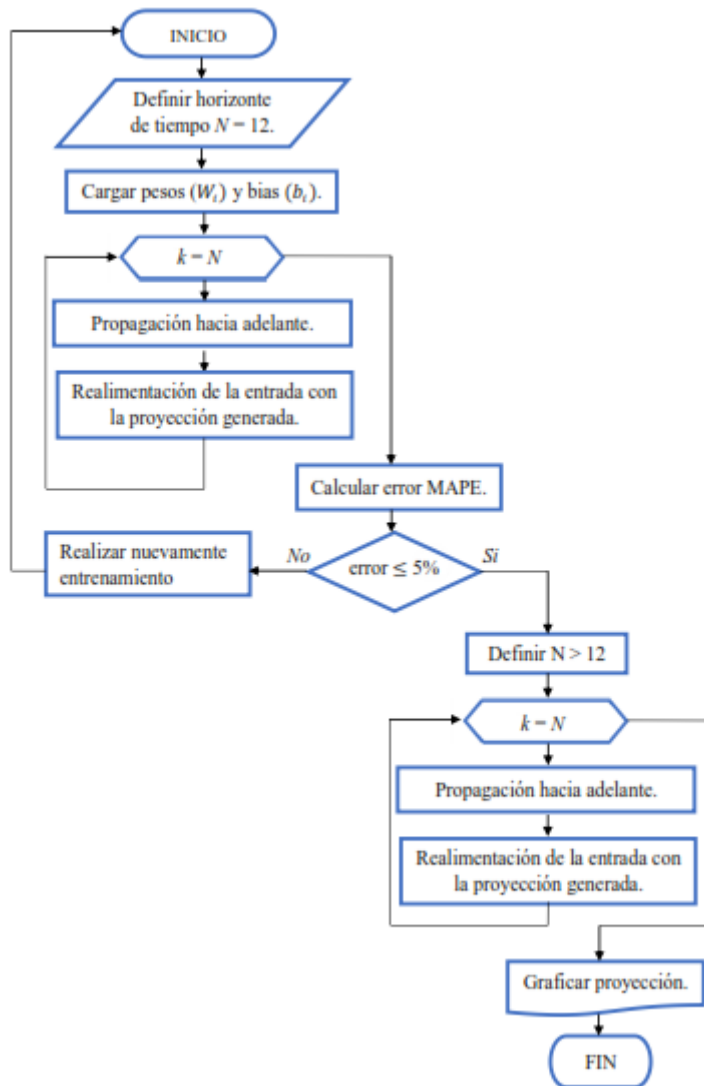
Fuente: Elaboración propia

## 2. Diagrama de flujo del programa para el proceso de prediccion

La primera proyección el valor de  $N$  sea igual a 3, las variables almacenadas en el archivo Pesos.m son cargadas en este nuevo proceso para utilizar el valor de la matriz de pesos  $W_i$  y vector bias  $b_i$  en la propagación hacia adelante, el vector de entrada es realimentado con los nuevos datos proyectados y genera nuevas proyecciones, este proceso se repite hasta que el valor de la variable  $k$  sea igual al número de la variable  $N$ .

El objetivo de establecer el horizonte de tiempo  $N$  igual a 3 para obtener la primera proyección es realizar la prueba en ese intervalo de tiempo con el criterio de evaluación de mapa mental , y si es porcentaje de error obtenido cumple con la condición de ser inferior al establecido como aceptable se procede a extender la proyección cambiando el valor de  $N$  a un número mayor a 3 , y se vuelve a repetir el proceso, es decir, se carga el archivo Pesos.m, se realiza la propagación hacia adelante, el vector de entrada es realimentado con los nuevos datos proyectados generando nuevas proyecciones hasta que el valor de la variable  $k$  sea igual al de la variable  $N$ .

Figura 47 Diagrama de flujo 2 del Proceso de Predicción



Fuente: Elaboración propia

Desarrollo del programa en MATLAB se encuentra en el anexo

#### f) Desarrollo del programa en matlab

El Programa desarrollado en el software matlab se encuentra en el anexo

1. Los datos considerados esta en el archivo data1.txt se almacena datos de demanda electrica para sector de Lima en por años desde el 2008 al



2021 y se realiza el preprocesamiento de estos datos tal como se detalla en las instrucciones :

```
*****Base de datos (serie temporal- en años en este caso 15 años)
p=date1(1:15,4);
data=[p']

***** se calcula el Valor máximo y mínimo de la serie temporal
maxData = max(data) ;
minData = min(data);

***** se realiza Normalizacion de la serie temporal con valores -1 a 1
*****para realizar los calculos
Datasetnor = (data-minData)/(maxData-minData)
```

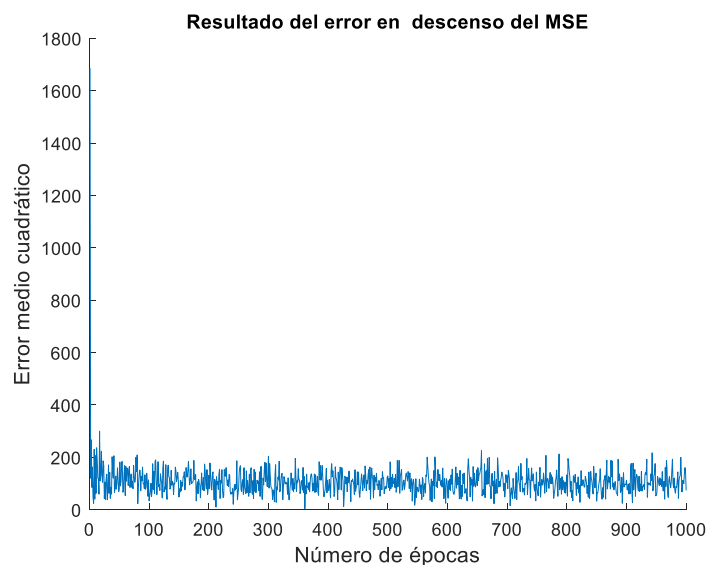
2. Para el entrenamiento de la red se implementa la función denominada **neuralTrain**

.se considera los valores de inicialización de la red neuronal

La función **neuralTrain** nos entrega los pesos sinápticos entrenados, bias, error

- El resultado del error después de entrenar la red se muestra en la figura

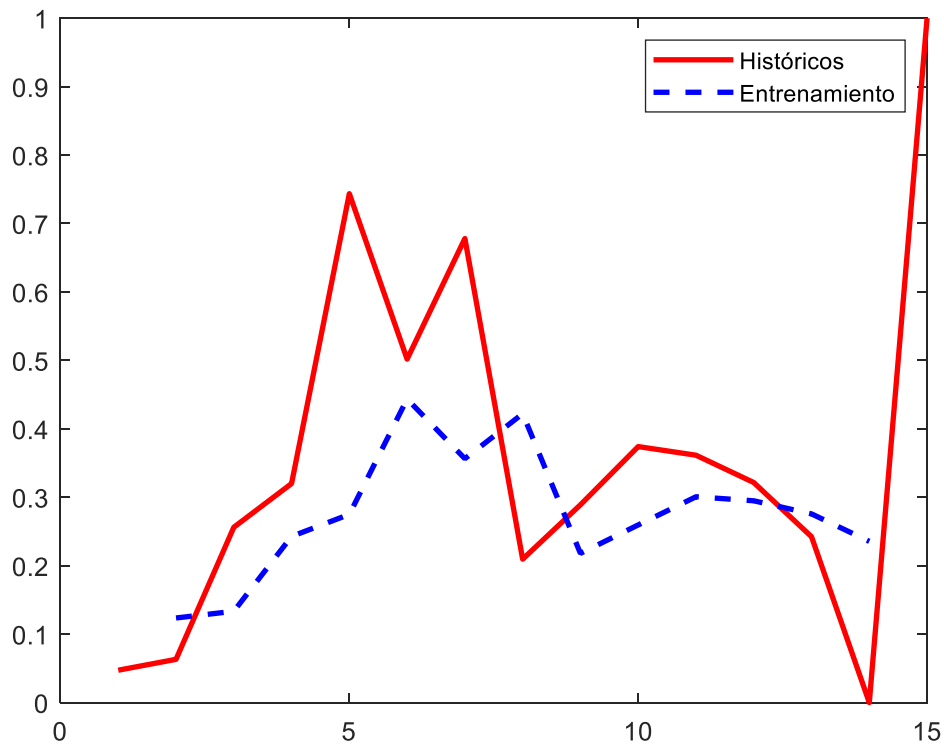
Figura 48 Error de Propagación de Entrenamiento de la RNA



Fuente: Elaboración propia

- El resultado despues del entrenamiento de la red con propagacion hacia adelante y con valores de datos normalizados  
Se muestra los datos historicos y del entrenamiento

Figura 49 Datos históricos y datos después de entrenar



Fuente: Elaboración propia

### 3. Resultado de prediccion

Para relizar el proceso de prediccion se realiza de acuerdo al diagrama de flujo  
Del praceso prediccion se realiza el programa en el software matlab siguiendo los pasos indicados  
Se carga los datos luego se realiza el preprocesamiento de los datos (normalizacion) se detalla

```
% *** Base de datos (serie temporal)
load date1.txt

% Base de datos (serie temporal)
p=date1(1:15,4);
data=[p']
%Valor máximo y mínimo de la serie temporal
maxData = max(data);
minData = min(data);
```

`%Normalizacion de la serie temporal`

```
Datasetnor = (data-minData)/(maxData-minData);
```

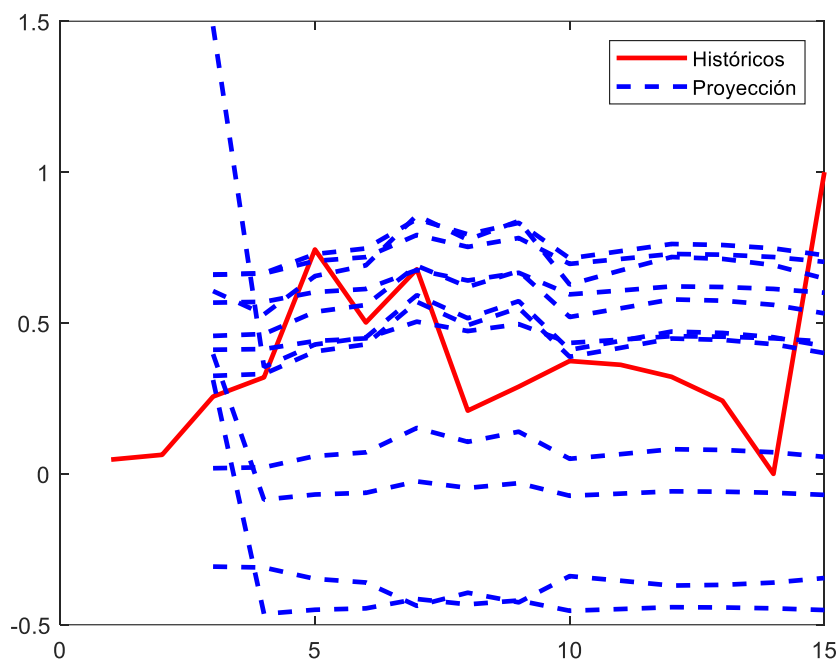
Luego se carga los pesos sinapticos y bias de la red entrenada

Se define el vector de entrada para la prediccion de los datos temporales

Seguidamente se define el Horizonte de tiempo a proyectar

Con los datos obtenidos se obtiene los datos de proyeccion , luego se realiza una grafica de los datos historicos y datos de proyeccion

Figura 50 Datos Históricos y de Proyección



Fuente: Elaboración propia

El dato de proyeccion de demanda de la energia es

**P= 16243 MegaWatts**

Este dato se puede mejorar variando las neuronas en la capa oculta

Tabla 20. Resumen de la Arquitectura de la Red Neuronal

<b>Parámetro</b>	<b>Modelo</b>
Arquitectura multicapa	1-12-1
Numero de neuronas de entrada	1
Numero de neuronas capa oculta	12
Numero de neuronas capa de salida	1
Funcion de activacion capa oculta	Tangente hiperbolica
Funcion de activacion de capa de salida	pureline
Algoritmo de aprendizaje	Backpropagation
Aprendizaje	supervisado

Fuente: Elaboración propia

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

HG: El algoritmo computacional basado en redes neuronales realiza el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en el Perú, se observa que, mediante las corridas realizadas en el sistema, y analizando en un intervalo de tiempo para obtener el consumo del año 2022, se obtiene un porcentaje de error de:

$$\begin{aligned} \text{\%error} &: \frac{20415 - 20108}{20415} \\ \text{\%error} &: \frac{307}{20415} = 1.504\% \end{aligned}$$

Para lo cual valida en que se encuentra en un margen aceptable para aseverar que el algoritmo computacional realiza la predicción del consumo de energía eléctrica con un porcentaje de acierto muy alto.

#### **Hipótesis Específicas**

HE1: Respecto a la primera hipótesis, se observa que según la gráfica de diseño, se pudo realiza la predicción en unidades de medida de energía eléctrica, ello se ve reflejado en el consumo obtenido.

HE2: Se ve reflejado en el resultado respecto a la cantidad de población que se cambió para el año 2022, y la cercanía respecto al valor de consumo de energía obtenido.

### **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Debido a la naturaleza experimental de la investigación, no existen antecedentes que evidencias la comparativa respecto a resultados obtenidos,

## VII. CONCLUSIONES

- La tecnología implementada por medio de redes neuronales, es un aporte significativo para diferentes ámbitos de la sociedad. Ello permitió a la presente tesis para poder elaborar un modelo predictivo de consumo en el sector energético.
- Es posible realizar la proyección del consumo de energía eléctrica en unidades deseadas, debido a la naturaleza de correspondencia entre población, y fechas, el sistema logró estimar el consumo en Megawatts del año 2022.
- El modelo del perceptrón multicapa con función de activación logística en la capa oculta y función de activación lineal en la capa de salida sirve como un aproximador universal de funciones y también como aplicación para predecir los datos temporales en este caso de las demandas de energía eléctrica con calidad.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un estudio más profundo respecto de los indicadores de que utiliza la red neuronal, de esa forma se logrará una mayor diversidad de predicciones y usos que se le puede brindar.
- Se recomienda extrapolar la presente investigación a modelos energéticos de otros rubros o indicadores ambientales a fin de elaborar proyecciones.
- Se recomienda establecer una conversión a moneda respecto al valor estimado en Gigawatts a fin de establecer un modelo económico de proyección o previsión de gastos a nivel regional o nacional.
- Se recomienda obtener la mayor cantidad de datos históricos para realizar el entrenamiento de la RNA vale decir un 70% de los datos, dejando un porcentaje mínimo del 30% para el proceso de validación.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Autor corporativo, “Anuario estadístico 2019,” Lima, 2019. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/Anuario/Anuario2019.pdf>
- [2] J. Vaca and A. Kido, “Estrategia de eficiencia en el consumo de energía eléctrica y mitigación en la estructura productiva de México,” *Contaduría y administración*, vol. 66, no. 2, Jun. 2021, doi: 10.22201/FCA.24488410E.2021.2487.
- [3] Y. M. Ladeuth, D. D. López, C. A. Socarrás, Y. M. Ladeuth, D. D. López, and C. A. Socarrás, “Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011,” *Información tecnológica*, vol. 32, no. 1, pp. 101–112, Feb. 2021, doi: 10.4067/S0718-07642021000100101.
- [4] P. Ciller, “The rural electrification planning problem: strategies and solutions,” Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2021. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: [https://www.iit.comillas.edu/publicacion/tesis/en/10183/The\\_rural\\_electrification\\_planning\\_problem:\\_strategies\\_and\\_solutions](https://www.iit.comillas.edu/publicacion/tesis/en/10183/The_rural_electrification_planning_problem:_strategies_and_solutions)
- [5] M. de Los Llanos, F. Martínez, and S. Vázquez, “El coste de la electricidad para las empresas españolas. Artículos Analíticos. Boletín Económico 1/2021.,” *Boletín Económico*, 2021, Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/15434/4/be2101-art06.pdf>
- [6] E. Ulloa, “Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial urbano de Cuenca,” Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22992>



- [7] R. Gutiérrez, “Estimación de la demanda de energía eléctrica de Mendoza,” Universidad Nacional de Cuyo, Cuyo, Argentina, 2013. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://flacsoandes.edu.ec/buscador/Record/uncu-5229/Description#tabnav>
- [8] J. Peña and A. Trujillo, “Monitorización, análisis y difusión del consumo energético eléctrico de modelo de vivienda del sector residencial de la ciudad de Riobamba,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2014. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3527>
- [9] J. Cuisano, L. Chirinos, and E. Barrantes, “Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica,” *Información tecnológica*, vol. 31, no. 2, pp. 267–276, Apr. 2020, doi: 10.4067/S0718-07642020000200267.
- [10] M. Cabrejos, “Sistema prepago para el suministro de energía eléctrica de Electronoroeste S.A. Región Piura,” Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú, 2021. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54569>
- [11] A. Tejada, “Prospectiva de la demanda energética nacional del 2017 al 2040,” Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú, 2017. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3921>
- [12] Y. Guerra, A. Aguilar, and J. Leyva, “Aprendizaje de la estadística descriptiva en secundaria básica con datos provenientes del consumo de energía,” *Horizonte de la Ciencia*, vol. 11, no. 21, pp. 201–215, Jul. 2021, doi: 10.26490/UNCP.HORIZONTECIENCIA.2021.21.906.

- [13] Y. Rodríguez, Y. Guardia, M. Camps, L. Taramona, and E. Sánchez, “Consumo de energía eléctrica y fuel oil en una empresa de productos cárnicos en Cuba,” *TAYACAJA*, vol. 3, no. 2, Nov. 2020, doi: 10.46908/rict.v3i2.120.
- [14] M. Diaz, “Propuesta Estratégica para mejorar el Índice de Consumo Energético Eléctrico en la Procesadora de Arroz ‘Cristo Morado SAC,’” Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2018. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2341>
- [15] F. Hidalgo, “Uso de técnicas estadísticas para determinar la proyección de las ventas de energía eléctrica del sistema interconectado nacional,” Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú, 2018. Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2511>
- [16] Aguilar, A. M., & Pérez Pérez, M. (marzo de 2021). Interpretando la demanda de energía eléctrica. (I. d. (España), Ed.) *Revista de didáctica de las matemáticas*,, ISSN 0212-3096, ISSN-e 1887-1984, N°. 107 (Marzo 2021), 2021( ISSN 0212-3096, ISSN-e 1887-1984, N°. 107 (Marzo 2021), 2021).
- [17] Basogain Olabe, X. (s.f.). *Redes Neuronales Artificiales sus Aplicaciones*.
- [18] Bernal Torres , C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales (Vol. Tercera edición )*. (O. F. Palma, Ed.) Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
- [19] Cabrejos De Santoyo, M. D. (s.f.). tesis doctoral.
- [20] Cabrejos De Santoyo, M. D. (2021). *Sistema prepago para el suministro de energía eléctrica de Electronoroeste S.A. Región Piura*. tesis doctoral, Universidad Cesar Vallejo, lima, lima.
- [21] Ciller Cutillas, P. (2021). *The rural electrification planning problem*. tesis doctoral, Universidad Pontificia Comillas, España.

- [22] Cuisano, J. C., Chirinos, L. R., Barrantes, E. J., & Mas, R. E. (15 de Enero de 2020). Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica. Centro de Información Tecnológica, 10.
- [23] Dammert Lira, A., Molinelli Aristondo, F., & Carbajal Navarro, M. (2011). Fundamentos Tecnicos y Economicos del Sector Electrico Peruano. Lima , lima, peru.
- [24] Grueiro Domínguez, M. T. (2017). Análisis del consumo de energía en ambientes interiores. Universidade da Coruña. Departamento de Enerxía e Propulsión Mariña.
- [25] Guerra Véliz, Y., Aguilar García, A., & Leyva Haza, J. (2020). Aprendizagem da estatística descritiva no Ensino Fundamental II com dados do consumo da energia. artículo, Universidad Nacional del Centro de Perú, junin, huancayo.
- [26] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodologia de la Investigacion Sexta Edicion (Vol. sexta ). Mexico: McGRAW-HILL.
- [27] INEI. (2021 de 10 de 10). INEI. Obtenido de INEI: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/electricity-and-water/>
- [28] Juárez Cervantes , J. D. (1995). Sistemas de distribución de energía eléctrica (Primera ed.). México: Sans Serif Editores,.
- [29] Ladeuth , Y. M., López, D. D., & Socarrás , C. A. (febrero de 2021). Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011. (U. o. Guajira, Ed.) ISSN 0716-8756, ISSN-e 0718-0764, Vol. 32, N°. 1 (Febrero), 2021, págs. 101-112(ISSN 0716-8756, ISSN-e 0718-0764, Vol. 32, N°. 1 (Febrero), 2021, págs. 101-112).
- [30] Martínez Casares, F., Vázquez Martínez, S., & Matea Rosa, M. (2021). El coste de la electricidad para las empresas españolas. banco de espala, ISSN 0210-3737, N°. 1, 2021(ISSN 0210-3737, N°. 1, 2021).

- [31] Rodríguez-Ponce, Y., Guardia-Puebla, Y., Camps-Michelena, M., Taramona Ruiz, L. A., & Sánchez García, E. (2020). Consumo de energía eléctrica y fuel oil en una empresa de productos cárnicos en Cuba. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT), Huancavelica, Huancavelica.
- [32] Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (s.f.). Metodología de la Investigación (6ta edición ed., Vol. 6ta edición). Mexico, Mexico: Mc Graw Hill.
- [33] Tejada Cabanillas, A. A. (2020). Prospectiva de la demanda energética nacional del 2017 al 2040. tesis doctoral, Universidad Nacional del Callao, lima, lima.
- [34] Vaca Serrano , J. M., & Kido Cruz, A. (2021). Estrategia de eficiencia en el consumo de energía eléctrica y mitigación en la estructura productiva de México. ISSN 0186-1042, Vol. 66, N°. 2, 2021(ISSN 0186-1042, Vol. 66, N°. 2, 2021).

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

El problema de investigación	Objetivos de la investigación	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología de investigación
<p><b>Problema general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Será posible generar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo acerca del consumo de energía eléctrica?</li> </ul> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Será posible diseñar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para el análisis predictivo acerca del consumo de energía eléctrica en Mega Watts?</li> <li>- ¿Será posible predecir mediante un algoritmo computacional en base a redes neuronales, el consumo de energía eléctrica por año y por mes?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b> Generar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Diseñar un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para realizar el análisis predictivo del consumo de energía eléctrica en Mega Watts.</p> <p>Realizar un mecanismo de predicción mediante un algoritmo computacional basado en redes neuronales, para predecir el consumo de energía por año y por mes.</p>	<p>Variable Independiente: Consumo de energía eléctrica</p>	<p>Consumo de energía eléctrica</p>	Consumo en MegaWatts según el libro	<p>Tipo de investigación: aplicada</p> <p>Diseño de investigación: Pre experimental</p> <p>Población: Conformada por todos los departamentos del Perú.</p> <p>Muestra: Conformada por toda la población, compuesta por todos los departamentos del Perú.</p>
				Horarios del día según	
				Meses del año según	
				Estaciones del año según	
		<p>Variable Dependiente: Redes Neuronales</p>	<p>Medición del rendimiento de la Red Neuronal</p>	<p>Sensibilidad: <math>VP / (VP + FN)</math></p>	
				<p>Especificidad: <math>VN / (VN + FP)</math></p>	

## ANEXO 2: PROGRAMACIÓN EN MATLAB

```
function varargout = sistema_consumo_energia(varargin)
% SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA MATLAB code for sistema_consumo_energia.fig
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA, by itself, creates a new
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA returns the handle to a new
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%     function named CALLBACK in SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA.M with the given
input arguments.
%
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA('Property','Value',...) creates a new
%     SISTEMA_CONSUMO_ENERGIA or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%     applied to the GUI before sistema_consumo_energia_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to sistema_consumo_energia_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help sistema_consumo_energia

% Last Modified by GUIDE v2.5 20-Dec-2022 01:41:11

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @sistema_consumo_energia_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @sistema_consumo_energia_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before sistema_consumo_energia is made visible.
function sistema_consumo_energia_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
```

```

% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to sistema_consumo_energia (see VARARGIN)

% Choose default command line output for sistema_consumo_energia
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes sistema_consumo_energia wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = sistema_consumo_energia_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in nuevo.
function nuevo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to nuevo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
e1=findobj(gcf, 'Tag', 'edit1');
set(e1, 'String', "");
e2=findobj(gcf, 'Tag', 'edit2');
set(e2, 'String', "");
e3=findobj(gcf, 'Tag', 'edit3');
set(e3, 'String', "");
e4=findobj(gcf, 'Tag', 'edit4');
set(e4, 'String', "");
resultado=findobj(gcf, 'Tag', 'resultado');
set(resultado, 'String', "");

% --- Executes on button press in cargar.
function cargar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to cargar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

[FileName Path]=uigetfile({'*.mat;*.mat'}, 'Escoger')

```



```

load (strcat(Path,FileName));

handles.datos = datos;
handles.docentes = docentes;
handles.rangos_entrada = rangos_entrada;
handles.target = target;
handles.entrenar_input = entrenar_input;
handles.entrenar_target = entrenar_target;
handles.prueba_test = prueba_test;
handles.prueba_target = prueba_target;
handles.testset=testset;

guidata(hObject,handles);

% --- Executes on button press in entrenar.
function entrenar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to entrenar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
handles.DATA = [ 0 ;1 ;0];
handles.net.trainParam.show=1;
handles.net=train(handles.net,handles.entrenar_input,handles.entrenar_target,
[],[]);

% --- Executes on button press in clasificar.
function clasificar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to clasificar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
salida = sim(handles.net,handles.ndata);
set (handles.resultado, 'String', salida );
%solucion = handles.DATA;
guidata(hObject,handles);

function resultado_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to resultado (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of resultado as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of resultado as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function resultado_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to resultado (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
ed1=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
ned1 = str2double(ed1); %Transformar a formato double
handles.ned1=ned1; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
ed2=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
ned2 = str2double(ed2); %Transformar a formato double
handles.ned2=ned2; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```



```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
ed3=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
ned3 = str2double(ed3); %Transformar a formato double
handles.ned3=ned3; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
ed4=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
ned4 = str2double(ed4); %Transformar a formato double
handles.ned4=ned4; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in guardar_1.
function guardar_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to guardar_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
handles.ndata=[handles.ned1]; %Almacenar en identificador
handles.ndata=[handles.ndata;handles.ned2];
handles.ndata=[handles.ndata;handles.ned3];
handles.ndata=[handles.ndata;handles.ned4];
guidata(hObject,handles)

% --- Executes on button press in crear.
function crear_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to crear (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
net=newff(handles.rangos_entrada,[10 1],{'tansig','logsig'},'trainlm');
handles.net=net;
guidata(hObject,handles);

function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to salir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
close;

```

### ANEXO 3: PROGRAMA PARA ENTRENAMIENTO DE LA RED

```
clc
clear
close all

%+++++++Base de datos (serie temporal)

load date1.txt

%*****Valor máximo y mínimo de la serie temporal

clc
clear
close all

%Base de datos (serie temporal)
p=date1(1:15,4);
data=[p']

%*****Valor máximo y mínimo de la serie temporal
maxData = max(data) ;
minData = min(data);

%*****Normalizacion de la serie temporal
Datasetnor = (Dataset-minData)/(maxData-minData);

%Cantidad de entradas
inputs = 12;

%Cantidad de datos para entrenamiento
train = Datasetnor(1:60);

%Bucle para acomodar la matriz de entrada y vector de salida u objetivos
for i=1:length(train)-inputs

    for j=1:inputs
        inputTrain(j,i) = train(i+inputs-j)
    end
    outputTrain(i) = train(i+inputs)
end

%***Parámetros de entrenamiento
nodeHidden = 9;
epoca = 1000;
alfa = 0.018;

%Llama a la función de entrenamiento neuralTrain
[W1,b1,W2,b2,error,errorAcumulado,Tdesnor,a2desnor,a2,e2] =
neuralTrain(inputTrain,outputTrain,nodeHidden,epoca,alfa);

%Plotea error
figure
plot(error)
title ('Resultado del descenso del MSE')
```

```

xlabel ('Número de épocas','FontName','Arial','FontSize',12)
ylabel ('Error medio cuadrático','FontName','Arial','FontSize', 12)

%Propagación hacia adelante
a3 = tansig(W1*inputTrain + b1);
a4 = W2*a3 + b2;

%Plotea históricos y resultado de entrenamiento normalizados
figure
plot(Datasetnor,'r','LineWidth',2),
hold on,plot(13:length(a4)+12,a4,'b--','LineWidth',2)
legend('Históricos','Entrenamiento')

%Guardar pesos y bias
save('Pesos.mat','W1','b1','W2','b2')

```

## ANEXO 4. PROGRAMA DEL ARCHIVO PREDICCIÓN

```
%Base de datos (serie temporal)
data1 = [ 13854 13970 15381 15848 18945 17177 18466 15040 ...
         15621 16243 16151 15859 15280 13508 20820  ];

%Valor máximo y mínimo de la serie temporal
maxData = max(data1);
minData = min(data1);

%Normalizacion de la serie temporal
Datasetnor = (data1-minData)/(maxData-minData);

%Carga el archivo que contiene los pesos y bias del entrenamiento
load Pesos.mat

%Cantidad de entradas (iguales a las del entrenamiento)
inputs = 3;

%Define el vector de entrada P para proyección
i = 1;
for k=10:-1:10-inputs
    P(i,1) = data1(k);
    i=i+1;
end

%Horizonte de tiempo a proyectar
N = 3;
% Bucle para ingresar la salida como nueva entrada
for k=1:N
    a1 = tansig(W1*P + b1);
    a3(k) = W2*a1 + b2;
    for i=inputs:-1:2
        P(i) = P(i-1);
    end
    P(1) = a3(k);
end

%Plotea históricos (año 2017 al 2022) y proyección según N
figure
plot(Data1nor, 'r', 'LineWidth', 2),
hold on, plot(4:length(a3)+5, a3, 'b--', 'LineWidth', 2)
legend('Históricos', 'Proyección')

%Cálculo del error MAPE para evaluar proyección
real=Dataset(10:end); %Selección de los últimos 12 valores de la ST
a3sel=a3(1:12); %Selección de los 12 primeros valores de la proyección
a3desn=(a3sel*(maxData-minData)+minData); %Desnormalización de la salida
div=(abs(real-a3desn)./real); % abs(x-xi)/x
promedio=mean(div); % Promedio
mape=promedio*100; % Convertir en %
disp(mape+" %") % Presentación en pantalla
```

## ANEXO 5: CÓDIGO DE LA FUNCIÓN NEURALTRAIN.M

```
Function[W1,b1,W2,b2,error,errorAcumulado,Tdesnor,a2desnor,a2,e2]=
neuralTrain(P,T,nodeHidden,epoca,alfa)

Q=size(P,2); % Cantidad de ejemplos

inputs=size(P,1); % Cantidad de entradas
outputs=size(T,1); % Cantidad salidas

W1=rand(nodeHidden(1),inputs); %Pesos capa de salida aleatoriamente
b1=rand(nodeHidden(1),1); % Bias de capa de salida inician
aleatoriamente

W2=rand(outputs,nodeHidden(1)); %Pesos capa oculta inician
aleatoriamente
b2=rand(outputs,1); % Bias de capa oculta inician aleatoriamente

maxData=86.29; %Valor máximo de la serie temporal
minData=48.45; %Valor mínimo de la serie temporal

for Epocas = 1:epoca % Cantidad de repeticiones total del bucle

    errorAcumulado = zeros(outputs,1); % Suma de los errores

    for i = 1:Q % Algoritmo de optimizacion

        q=randi(Q); % Selección aleatoria de entradas

        % Propagación hacia adelante
        a1 = tansig(W1*P(:,q) + b1);
        a2 = W2*a1 + b2;
        %Desnormalización para evaluar el MSE, PARA GRAFICAR
EL ERROR
        Tdesnor=(T(:,q) * (maxData-minData)+minData);
        a2desnor=(a2 * (maxData-minData)+minData);

        %*****Cálculo del error desnormalizaddo
        e2=Tdesnor-a2desnor;
        %*****Retropropagación de las sensibilidades
        e = T(:,q)-a2; % error de proyección
        s2 = -2*e; % sensibilidad de la última capa
        s1 = diag((1-a1.^2))*W2'*s2; % sensibilidad de la capa oculta
        %***** Actualización de pesos sinapticos y bias
        W2 = W2 - alfa*s2*a1';
        b2 = b2 - alfa*s2;
        W1 = W1 - alfa*s1*P(:,q)';
        b1 = b1 - alfa*s1;
        %actualización del error Acumulado
        errorAcumulado = e2^2 + errorAcumulado;
    end
    % MSE de la última epoca, ESTE VALOR SERÁ GRÁFICADO
    error(Epocas) = errorAcumulado/Q;
end
end
```