



DISERTACIÓN

Maestría en Ingeniería de Energía y Ambiente

***Gestión Eficiente de Redes Eléctricas  
Inteligentes en la Mini-central Fotovoltaica de  
la Universidad Técnica de Manabí.***

**Ney Raúl Balderramo Vélez**

Leiria, junio de 2018





DISERTACIÓN

Maestría en Ingeniería de Energía y Ambiente

***Gestión Eficiente de Redes Eléctricas  
Inteligentes en la Mini-central Fotovoltaica de  
la Universidad Técnica de Manabí.***

**Ney Raúl Balderramo Vélez**

Disertación de Maestría desarrollado bajo la supervisión del Doctor Luis Piris Neves, profesor de la Escuela de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y co-supervisión de la Doctora Yolanda Llosas Albuerne, profesora de la Escuela de Electricidad de la Universidad Técnica de Manabí.

Leiria, junio de 2018



# Dedicatoria.

---

Mi tesis la dedico a mi esposa Gema Lisseth Holguín Llerena, quien a pesar de los momentos difíciles que se presentaron en el transcurso de mis estudios, estuvo a mi lado brindándome todo su cariño y comprensión.

A mi abuelita Ángela Agripina Barberan Intriago, quien siempre ha confiado en mis capacidades, y es la persona que forma uno de los pilares fundamentales en mi vida.

A mi mamá Cecilia Monserrate Vélez Vélez y a mi papá Narciso Bernardo Balderramo Barberan, quienes han hecho de mí una persona de bien y con buenos valores.

A Dios por darme la bendición de estar rodeado de buenas personas que buscan mi bienestar y mi felicidad.

# Agradecimiento.

---

Primeramente agradezco a Dios por toda la experiencia vivida, ya que sin el nada es posible.

Quiero agradecer también al Doctor. Luis Piris Neves y a la Doctora. Yolanda Llosas Albuerno, quienes fueron los responsables de guiar esta investigación hacia la obtención del objetivo planteado en la misma. Así mismo, quiero hacerles conocer que es un honor para mí haber recibido sus buenos consejos, recomendaciones y conocimientos, con los cuales pude encontrar el camino para solucionar los problemas que se iban presentando en el desarrollo de esta investigación. Por tal razón, y por el tiempo que me brindaron para esclarecer mis inquietudes, quedo totalmente agradecido.

A los Ingenieros Lenin Cuenca y Guillermo Loor, por creer y confiar en mis capacidades.

A la abogada Frella Llerena, por haberme brindado su confianza y su apoyo económico.

Gratitud eterna.



# Resumen.

---

Los elevados costos de energías y el fuerte impacto ambiental que recae sobre las grandes centrales generadoras de energía eléctrica a base de combustibles fósiles, conllevan a tomar decisiones que ayuden a disminuir el impacto ambiental utilizando fuentes de generación amigables con el medio ambiente. Además la baja eficiencia energética que se presenta en los consumidores aporta significativamente con el deterioro ambiental, ya que, cuanta más energía requieran para su funcionamiento existirá más consumo de combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica.

En la actualidad se utilizan muchas técnicas para obtener mayor eficiencia energética empleando generación a base de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, entre otras tecnologías de aprovechamiento de los recursos naturales. Pero no solo se trata de obtener la energía que nos brindan los recursos naturales, sino, de gestionarla o distribuirla de la mejor forma, y así obtener los mejores resultados disminuyendo los pagos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por tal razón, la implementación de redes eléctricas inteligentes se ha convertido en la herramienta principal en los sistemas eléctricos actuales, debido, a los buenos resultados económicos y ambientales obtenidos en el caso de estudio.

Las reducciones en los pagos energéticos y beneficios ambientales demuestran que la implementación de una red eléctrica inteligente con un sistema de almacenamiento, es totalmente factible ya que los beneficios son de gran relevancia para la UTM y para el estado Ecuatoriano. Por tal razón, si se implementa una red eléctrica inteligente en el edificio N° 3 de docentes, se obtendrán reducciones en los pagos energéticos y en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Dejando un horizonte que permitirá dimensionar una red eléctrica inteligente en todo el campus de la UTM, y así obtener resultados de mayor envergadura.

Palabras claves: Red Eléctrica Inteligente, Gestión Energética.

# Abstract.

---

The high energy costs and the strong environmental impact that falls on the large fossil fuel-based power plants lead to decisions that help to reduce the environmental impact by using sources that are environmentally friendly. In addition, the low energy efficiency that occurs in consumers significantly contributes to environmental deterioration, since, the more energy required for its operation there will be more consumption of fossil fuels to obtain electricity.

At present, many techniques are used to obtain greater energy efficiency using generation based on photovoltaic panels, wind turbines, among other technologies for the use of natural resources. But it is not only about obtaining the energy that natural resources provide, but about managing or distributing it in the best way, and thus obtaining the best results by reducing energy payments and CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. For this reason, the implementation of smart electric networks has become the main tool in current electrical systems, due to the good economic and environmental results obtained in the case study.

The reductions in energy payments and environmental benefits show that the implementation of an intelligent electricity grid with a storage system is totally feasible since the benefits are of great relevance for the UTM and for the Ecuadorian state. For this reason, if an intelligent electrical network is implemented in building No. 3 of teachers, reductions in energy payments and CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere will be obtained. Leaving a horizon that will allow to dimension an intelligent electrical network in all the campus of the UTM, and thus obtain results of bigger scope.

Keywords: Intelligent Electrical Network, Energy Management.



# Lista de Figuras.

---

Figura 1. Estructura y evolución de la REI.....	8
Figura 2. Componentes fundamentales de una REI.....	9
Figura 3. Sistema eléctrico tradicional (a) y de próxima generación (b).....	10
Figura 4. Microrred con interconexión de servicios públicos .....	17
Figura 5. Beneficio que brinda la REI.....	25
Figura 6. IA e IC y sus contribuciones a la REI.....	28
Figura 7. Capacidades de los métodos de IC para REI.....	32
Figura 8. Esquema general de un algoritmo evolutivo . .....	35
Figura 9. Representación de una RNA con alimentación hacia adelante.....	38
Figura 10. Representación de una RNA con retroalimentación.....	39
Figura 11. Taxonomía de arquitectura de RNA.....	39
Figura 12. Modelo de funcionamiento normal. ....	49
Figura 13. Arquitectura de RNA con RBF.....	52
Figura 14. Esquema de RNA con RBF.....	54
Figura 15. Detección de escenarios utilizando RNA con RBF. ....	55
Figura 16. Transformador padmounted de 75 kVA. ....	59
Figura 17. Ubicación satelital de los predios de la UTM.....	59
Figura 18 Ubicación satelital de la Mini-central Fotovoltaica.....	60
Figura 19. Módulos de silicio que conforman la mini-central fotovoltaica. ..	61
Figura 20. Inversor utilizado en la mini-central fotovoltaica. ....	61
Figura 21. Comportamiento de potencias en general (WinPQ Mobil).....	63
Figura 22. Diagrama de factor de potencia (WinPQ Mobil).....	64
Figura 23. Diagrama de frecuencia (WinPQ Mobil).....	65
Figura 24. Diagrama de tensión y corriente (WinPQ Mobil).....	67
Figura 25. Consumo energético del edificio de docente N° 3. ....	68
Figura 26. Diagrama de energías reactivas inductivas y capacitivas.....	70
Figura 27. Diagrama comparativo.....	71
Figura 28. Características del sistema de almacenamiento de energía. ....	72
Figura 29. Diagrama de aportación energética.....	74
Figura 30. Valores normalizados para las entradas de la RNA con BRF. ....	75
Figura 31. Flujograma para la toma de decisión. ....	76

<b>Figura 32. Estructura física de la RNA con RBF.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 33. Diagrama de rendimiento y validación de la RNA con RBF.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 34. Regresión de entrenamiento de la RNA con RBF.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 35. Estado de entrenamiento de la RNA con RBF. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 36. Resultados (Y) expuestos por la RNA con RBF.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 37. Comportamiento de resultados Y y Y'.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 38. Simulación de red eléctrica inteligente 22:00h. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 39. Simulación de la red eléctrica inteligente 09:20h. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 40. Comportamiento del flujo económico. ....</b>	<b>89</b>

## Lista de Tablas.

---

Tabla 1. Características de la REI y de una REC.....	12
Tabla 2. Resumen Bibliográfico.....	40
Tabla 3. Valores interpretativos de P, S y Q. ....	62
Tabla 4. Valores interpretativos de tensión y corriente.....	66
Tabla 5. Valores interpretativos del consumo energético en el edificio.....	68
Tabla 6. Valores interpretativos del consumo de energías reactivas. ..	69
Tabla 7. Matriz de entradas. ....	78
Tabla 8. Facturación de la energía proveniente de la red. ....	86
Tabla 9. Facturación de la E. que la mini-central aporta al edificio.....	86
Tabla 10. Facturación de la energía proveniente de la red.....	87
Tabla 11. Ahorros energéticos y económicos.....	87
Tabla 12. Valores requeridos para el análisis de Prefactibilidad.....	88
Tabla 13. Resultados del análisis de prefactibilidad. ....	89
Tabla 14. Reducción de emisiones con la mini-central fotovoltaica. ....	90
Tabla 15. Reducción de emisiones con la REI y batería.....	91



# Lista de Abreviaturas y Simbologías.

---

<b>A</b>	Amperio.
<b>AC</b>	Corriente Alterna.
<b>Bit</b>	Velocidad de Trasmisión de Datos
<b>CENL.EP</b>	Corporación Nacional de Electricidad. Empresa Pública.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono.
<b>DG</b>	Generadores Distribuidos.
<b>DLR</b>	Evolución Dinámica de Línea.
<b>E</b>	Energía.
<b>F</b>	Frecuencia.
<b>FACTS</b>	Trasmisión Flexible de Corriente Alterna.
<b>Fp</b>	Factor de Potencia.
<b>h</b>	Hora.
<b>HTS</b>	Superconductores de Alta Temperatura.
<b>HVDC</b>	Alto Voltaje en Corriente Continua.
<b>Hz</b>	Hertz.
<b>IA</b>	Inteligencia Artificial.
<b>IAD</b>	Inteligencia Artificial Distribuida.
<b>IC</b>	Inteligencia Computacional.
<b>IL<sub>n</sub></b>	Corriente en la Línea n.
<b>Kw</b>	Kilo Vatios.
<b>MEER</b>	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
<b>MLP</b>	Perceptrón Multicapa.
<b>MW</b>	Mega Vatios.
<b>P</b>	Potencia Activa.

<b>Pay-Back</b>	Retorno o Rembolso.
<b>PV</b>	Elemento Fotovoltaico.
<b>Q</b>	Potencia Reactiva.
<b>RBF</b>	Función en Base Radial.
<b>REC</b>	Red Eléctrica Convencional.
<b>REI</b>	Red Eléctrica Inteligente.
<b>RNA</b>	Red Neuronal Artificial.
<b>S</b>	Potencia Aparente.
<b>SLP</b>	Perceptrón de Capa Única.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>Ton</b>	Tonelada.
<b>ULn</b>	Tensión en la Línea n.
<b>UTM</b>	Universidad Técnica de Manabí.
<b>V</b>	Voltios.
<b>VA</b>	Voltio Amperio.
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto.
<b>Wp</b>	Vatios Pico.
<b>WSN</b>	Redes de Sensores Inalámbricas.



# Tabla de Contenido.

---

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación.....	3
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General. ....	4
1.3.2. Objetivo Específico. ....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO.</b>	<b>5</b>
2.1. Redes eléctricas Inteligentes. ....	5
2.1.1. Paradigma Bidireccional. ....	9
2.1.2. Objetivos de las Redes Eléctricas Inteligentes. ....	11
2.1.3. Características y Diferencias Principales de las Redes Eléctricas Inteligentes. ....	12
2.1.4. Micro Redes Eléctricas Inteligentes. ....	15
2.1.5. Retos de la Red Eléctrica Inteligente. ....	17
2.1.6. Tecnología de las Redes Eléctricas Inteligentes. ....	18
2.1.7. Funciones de las Tecnologías de la Red Eléctrica Inteligente. ....	21
2.1.8. Beneficios de las Tecnologías de la Red Eléctrica Inteligente. ....	22
2.1.9. Barreras en el Desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente. ....	25
2.1.10. Gestión Energética con Elementos Fotovoltaicos. ....	26
2.2. Herramientas y Técnicas Fundamentales para la Obtención de una Red Eléctrica Inteligente.....	27
2.2.1. Filtrado y Procesamiento de Información para la Correcta Gestión energética de una Red Eléctrica Inteligente. ....	28
2.2.2. Inteligencia Artificial. ....	29
2.2.3. Modelación, Monitorización y Optimización: Factores Fundamentales en el desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente. ....	31
2.2.4. Inteligencia Computacional en el Desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente. ....	31
2.2.5. Lógica Difusa. ....	32
2.2.6. Aplicaciones Generales de la Lógica Difusa. ....	33
2.2.7. Computación Evolutiva. ....	34
2.2.8. Redes Neuronales Artificiales. ....	35
2.2.9. Principales Características de las Redes Neuronales Artificiales. ....	37
2.2.10. Definición de Arquitectura en Redes Neuronales Artificiales. ....	38

2.3.	Resumen Bibliográfico. ....	40
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA.</b>	<b>43</b>
3.1.	Técnicas Basadas en el Análisis de Propagación. ....	43
3.2.	Detección de Escenarios Basados en Modelos. ....	45
3.3.	Aislamiento de escenarios para la conexión y desconexión. ....	46
3.4.	Metodología del Árbol para la Toma de Decisión. ....	48
3.5.	Modelo de Operación Normal. ....	49
3.6.	Redes Neuronales Artificiales con Función en Base Radial. ....	51
3.6.1.	Metodología de las RNA con RBF. ....	52
3.7.	Diagnóstico de Escenarios Utilizando RNA. ....	53
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE CASO.</b>	<b>58</b>
4.1.	Caracterización del Área de Trabajo. ....	58
4.1.1.	Área de Trabajo. ....	58
4.1.2.	Características de la Mini-central Fotovoltaica. ....	60
4.2.	Análisis de los Datos Obtenidos con el Equipo PQ-Box 100 (Analizador de Red).	61
4.2.1.	Análisis de Potencia Activa (P), Aparente (S) y Reactiva (Q). ....	62
4.2.2.	Análisis del Factor de Potencia (Fp). ....	64
4.2.3.	Análisis de frecuencia (F). ....	65
4.2.4.	Análisis de Tensión y Corriente. ....	66
4.2.5.	Análisis de la Energía Consumida de la Red y de la Mini-central Fotovoltaica. ....	68
4.2.6.	Análisis de las Energía Reactiva Capacitiva e Inductiva. ....	69
4.3.	Dimensionamiento del Sistema Inteligente a Implementar. ....	71
4.3.1.	Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento de Energía. ....	72
4.3.2.	Diseño del Sistema Inteligente Utilizando RNA con RBF. ....	74
4.3.3.	Creación de la RNA con RBF. ....	76
4.3.4.	Estructura y Entrenamiento de la RNA con RBF. ....	78
4.3.5.	Análisis de los Resultados Brindaos por la RNA con RBF. ....	81
4.3.6.	Simulación de los Resultados Obtenidos de la RNA con RBF. ....	82

<b>5. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA Y APORTACIÓN MEDIO AMBIENTAL.</b>	<b>84</b>
<b>5.1. Análisis de Prefactibilidad Económica.....</b>	<b>84</b>
5.1.1. Facturación de la Energía que se Consume en el Edificio por Parte de la Red y de la Mini-central Fotovoltaica. ....	85
5.1.2. Análisis de Prefactibilidad. ....	88
<b>5.2. Análisis de la Aportación Ambiental. ....</b>	<b>90</b>
<b>6. CAPÍTULO VI. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>92</b>
6.1. Conclusiones. ....	92
6.2. Propuesta de Trabajos Futuros.....	93
<b>REFERENCIAS.</b>	<b>95</b>
<b>GLOSARIO.</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS.</b>	<b>104</b>





# 1. Introducción.

---

Atendiendo a que el suministro de energía se ha convertido en uno de los problemas más difíciles que enfrenta el mundo en el siglo XXI, así como la creciente población que conlleva más hogares, negocios y un aumento de nuevos equipos electrodomésticos han hecho que la demanda de energía se dispare en todas partes del país. En este sentido, la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid) se convierte de hecho en un activador necesario y procreativo para una sociedad próspera en el futuro.

Hasta poco tiempo atrás, el paradigma dominante consistió en la universalización del servicio. La red eléctrica del futuro requiere un salto cualitativo debido a la necesidad de administrar mejor los recursos energéticos, favorecer la protección del medioambiente y responder a los requerimientos cada vez más exigentes de calidad de servicio y producto.

Se requiere entonces de una visión, de la aplicabilidad de la misma y el control para el chequeo de las prestaciones. En este sentido se deben identificar las ventajas, el crecimiento y el problema de empleabilidad de las redes eléctricas inteligentes.

Al igual que una red de información inteligente, las prestaciones de Internet para la red eléctrica se consideran necesarias para gestionar y automatizar este nuevo mundo. Los conceptos de red inteligente abarcan una amplia gama de tecnologías y aplicaciones. Es necesario tener en cuenta que, aunque ya existen algunas aplicaciones de las mismas, en esta etapa temprana del desarrollo de redes inteligentes el papel del control, especialmente el control avanzado, es limitado.

En la red eléctrica inteligente aislada se pueden conectar varios generadores de energía diferentes, por ejemplo: instalaciones fotovoltaicas, instalaciones de energía eólica, centrales hidroeléctricas y generadores diésel. En este caso específico se propone aplicar técnicas de inteligencia artificial al trabajo de una red eléctrica inteligente aislada conmutando con la red eléctrica buscando el máximo aprovechamiento de la energía eléctrica.

Esto pudiera soportarse en la distribución eléctrica del edificio de docentes N° 3 de la Universidad Técnica de Manabí en el cual se encuentra instalada una mini-central fotovoltaica de 3,4 kWp. Específicamente se trabajaría con un sistema híbrido que puede estar conectado a red o alimentarse de la central fotovoltaica para brindar la cobertura energética del edificio N° 3 de docentes de la UTM, gerenciando todo esto por medio de la red inteligente con inteligencia artificial.

Algunos de los problemas inherentes a los sistemas de energía de red inteligente incluyen problemas de privacidad del cliente, problemas de seguridad, volatilidad de la red e inflexibilidad. La implementación de un sistema eléctrico de red inteligente tiene implicaciones considerables para la privacidad personal porque la red tiene la capacidad de controlar el acceso a la energía. Los expertos en seguridad creen que esta tecnología puede permitir que alguien que no sea el cliente controle la fuente de alimentación por lo que sería uno de los puntos de vulnerabilidad del sistema propuesto a tener en cuenta.

Por último, la implementación de redes eléctricas inteligentes se ha presentado como una solución muy completa y con beneficios para los grupos de interés. La transición a una red inteligente completamente implementada trae a menudo una serie de beneficios en una relación cliente-servidor. Las Redes Eléctricas Inteligentes que se basan en incorporar a la red eléctrica tradicional dispositivos electrónicos tales como medidores, sensores o mandos, entre otros, vinculados a través de distintas tecnologías de comunicación, para lograr la centralización y el uso de la información de cara al provecho de todos los actores involucrados, intentan optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico. De esta forma, es posible que las empresas de servicios puedan administrar eficientemente sus activos y que el usuario final gestione su consumo en forma racional.

Para poder realizar la aplicación de las Redes Inteligentes, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Una clara comprensión sobre el diagnóstico de los escenarios que conforman el sistema y los métodos de diagnóstico a emplear en cada caso.

- Una base de datos suficiente sobre el funcionamiento/operación del Sistema Eléctrico de Potencia para que se creen los sistemas de diagnóstico correspondientes que permitan la toma de decisiones de forma automática a la red. Y estaría este sistema diseñado con inteligencia artificial que pueda brindar la toma de decisión óptima dentro del sistema.

## **1.1. Justificación.**

Uno de los grandes problemas que se presentan como un reto a nivel mundial, es la generación y uso de la energía eléctrica, a la vez que se protege el medio ambiente. Es notable que los costos asociados a la energía crecen con el pasar de los años debido a innumerables factores que radican desde la producción de energía. Muchos países con un campo tecnológico muy avanzado y con gran utilización de energías alternativas, buscan implementar sistemas inteligentes que le permitan monitorizar, controlar y predecir diferentes anomalías o situaciones adversas en el sistema eléctrico ya sea de generación, distribución o consumo.

Se requiere por tanto partir de la configuración de los sistemas eléctricos de potencia actual, establecer los requerimientos necesarios para la implementación de una red eléctrica inteligente, que le brinde mayor inteligencia al sistema con infraestructuras de medición avanzada, modelo de arquitectura de generación distribuida- microrredes, garantizando de esa forma un mayor aprovechamiento de las energías alternativas.

## **1.2. Planteamiento del Problema.**

Baja eficiencia de los sistemas productores-consumidores energéticos distribuidos, debido a la ausencia de integración de tecnologías y del uso de técnicas de inteligencia artificial distribuidas que mejoren la supervisión y control.

## **1.3. Objetivos.**

---

### **1.3.1. Objetivo General.**

Analizar, diseñar y proyectar una red eléctrica inteligente en aplicaciones de procesos de generación-consumo distribuidos de energía renovable fotovoltaica, mediante el empleo de herramientas de inteligencia artificial.

### **1.3.2. Objetivo Específico.**

- 1) Analizar las redes eléctricas inteligentes que permitan obtener una visión global de los aspectos técnicos y tecnológicos que posibiliten la introducción, desarrollo e integración con la gestión de generación y distribución de la energía en la edificación.
- 2) Analizar la teoría de redes neuronales artificiales en la Inteligencia Artificial para la gestión de la generación y distribución de energía fotovoltaica dentro de la edificación.
- 3) Analizar la gestión energética y medición de variables involucradas en la generación fotovoltaica y del entorno del edificio N° 3 de la UTM.
- 4) Realizar el diseño del proyecto en software aplicable a la integración a una red eléctrica inteligente de generación-consumo distribuido de energías renovables.
- 5) Verificar y validar formalmente el diseño creado en el punto anterior para reducir errores desde la etapa de diseño y garantizar modularidad y aplicabilidad.

## 2. Marco Teórico.

---

En este capítulo se presenta el contenido teórico fundamental para el desarrollo de esta investigación, los cuales están enfocados en: Red eléctrica inteligente, inteligencia artificial, técnicas de la inteligencia artificial, tecnología de sensores actuadores existentes y herramientas tecnológicas que permitan la simulación y obtención del sistema inteligente a diseñar.

### 2.1. Redes eléctricas Inteligentes.

Uno de los grandes problemas que se presentan como un reto a nivel mundial, es la generación y uso de la energía eléctrica, a la vez que se protege el medio ambiente. Es notable que los costos asociados a la energía crecen con el pasar de los años debido a innumerables factores que radican desde la producción de energía; muchos países con un campo tecnológico muy avanzado y con gran cantidad de utilización de energías alternativas, buscan implementar sistemas inteligentes que le permitan monitorizar, controlar y predecir diferentes anomalías o situaciones adversas en el sistema eléctrico ya sea de generación, distribución o consumo, tal es el caso de Peralta Sevilla & Amaya Fernández, (2013), que efectúan un trabajo en el análisis de la problemática que se presenta en la configuración de los sistemas eléctricos de potencia actual y los requerimientos necesarios para la implementación de una red eléctrica inteligente, que le brinde mayor inteligencia al sistema con infraestructuras de medición avanzada, modelos de arquitectura de telecomunicaciones y generación distribuida-micro redes, *“logrando un mayor aprovechamiento de las energías alternativas, predecir ágilmente los fallos y una adaptación a los vehículos eléctricos”*. Estados Unidos y la Unión Europea son los mayores consumidores de energía en el mundo; por tanto, han desarrollado un plan para la implementación de una red eléctrica inteligente que permita gestionar los recursos energéticos de una forma flexible, limpia, segura, confiable y económica.

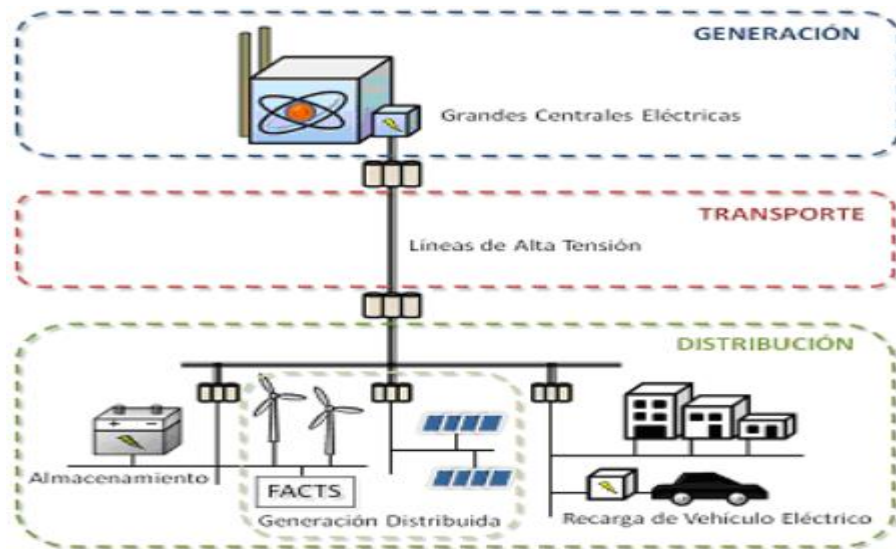
Martínez Ochoa, (2012) en su trabajo, realiza un análisis de lo que son las redes eléctricas inteligentes y una proyección a corto y mediano plazo de sus avances en cuestiones tecnológicas y de integración. Afirma que, *“Gracias a la gran cantidad de proyectos que se están llevando a cabo en el mundo, las redes eléctricas inteligentes son ya una realidad”*. Esto demuestra la concienciación de las personas, empresas y gobiernos con el medio ambiente, lo cual viene reflejado en *el Plan horizonte 2020, en el documento Plan de Energía y Cambio Climático Horizonte 2020 de la ciudad de Madrid*. Se apuesta a una generación distribuida en lugar de una centralizada, lo que permitirá que la generación de energía sea mucho más sostenible y eficiente, en la constante búsqueda de que el cliente pueda generar su propia energía, reduciendo los centros de generación con elevada potencia.

Los nuevos modelos de red eléctrica inteligente, impulsan la generación distribuida, la autonomía en su control y las integraciones de tecnologías de la información para la transmisión y el manejo de datos, constituyen según Á. Gonzalez, (2012), una solución cercana a los problemas actuales. Además, la reducción de costos de las telecomunicaciones, los avances en sensores y sistemas más inteligentes y procesadores más potentes y rápidos, está haciendo que la generación, distribución y gestión de energía sea más barata, ecológica y que permita ofrecer una serie de nuevos servicios a los usuarios finales. El estudio se orienta a determinar la factibilidad de la implementación de energía solar, desde el punto de vista técnico y económico, pero no hay un análisis en lo relacionado a la gestión y uso eficiente de la energía producida.

Es necesario que las viviendas y demás inmuebles comiencen a prepararse para lo que es una nueva generación de sistemas y equipos inteligentes, que han comenzado a invadir nuestro entorno y que su adecuado uso no solo mejore la calidad de vida de los habitantes, sino que serán sistemas más amigables con el medio ambiente. En el Ecuador, a través del MEER, a inicios del 2015 se ha puesto en marcha un programa de redes eléctricas Inteligentes, según el titular del MEER, *“busca incorporar un nuevo modelo de gestión del sistema eléctrico, sustentado en tecnologías avanzadas de medición, monitoreo y comunicación, y que involucre desde la producción hasta el consumo de la energía eléctrica”*(Ministerio de Electricidad y Energías Renovable, 2017). Es necesario

iniciar estudios de esta naturaleza, para determinar su aplicabilidad en sus ciudades, asegurar una conectividad eficiente con los sistemas domóticos y fomentar el diseño de sistemas en función de las necesidades reales de la población, y no repetir como en el caso de muchas otras tecnologías, que han llegado al país y es la población y el medio, quienes han tenido que adaptarse a ellas, impidiendo su máximo aprovechamiento.

La estructura de la red eléctrica inteligentes tradicional comprende diferentes etapas en el proceso de suministro de energía. La primera etapa consiste en la generación de energía que tiene lugar en grandes plantas de producción; En la segunda etapa, la energía se transporta a las diferentes áreas donde se consume; Finalmente, y luego de ser adecuadamente transformada, la energía se entrega al usuario final en la etapa de distribución. Esta última etapa en particular ha experimentado numerosos cambios en los últimos años con la introducción progresiva de nuevos actores como unidades de generación distribuida (principalmente parques solares, eólicos y plantas de cogeneración), sistemas de almacenamiento (que aumentan de manera previsible) y el futuro surgimiento de la estructura necesaria para recargar vehículos eléctricos, tal como se lo aprecia en la **Figura 1**. Estos nuevos actores aportan nuevas posibilidades y más flexibilidad en relación con la forma tradicional en que se gestiona la energía. Sin embargo, el nuevo resultante debe usar tecnologías que permitan enfrentar una complejidad cada vez mayor (T. García, Carlos, & López, 2011).



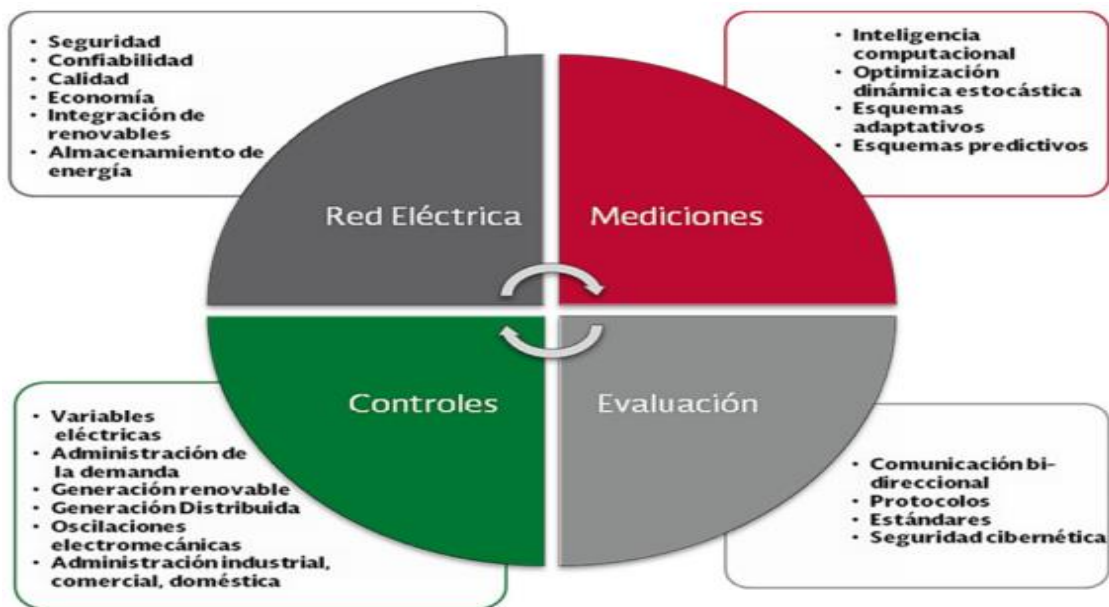
**Figura 1. Estructura y evolución de la REI (T. García et al., 2011).**

En las últimas décadas, el mundo ha experimentado un aumento significativo de la energía consumida que provocó una preocupación generalizada por los problemas más futuros de la energía en cuanto a sostenibilidad. Esta situación ha llevado a gobiernos y comunidad científica a buscar soluciones que permitan un uso eficiente, flexible y responsable de la energía a través de una concepción más flexible y optimizada de la red eléctrica. Este nuevo paradigma se conoce como red eléctrica inteligente. A pesar del amplio espectro de tecnología involucradas, que hace imposible proporcionar una definición simple y única; está ampliamente aceptado que la red eléctrica inteligente es la plataforma que integra todas las más avanzadas tecnologías de control y de tratamiento de la información que permite monitorizar y gestionar la generación y distribución de la energía (T. García et al., 2011). Sin embargo, el concepto general de red eléctrica inteligente hace referencia a una red de energía avanzada, acorde con los adelantos y tendencias del siglo XXI, que incorporan los servicios y beneficios de las tecnologías de comunicación y computación digital a una infraestructura de transmisión y distribución de energía eléctrica, y que se caracteriza por un flujo bidireccional de energía e información que incluye equipos instalados en la parte de la red del cliente y sensores asociados (Andrés, Andrade, & Hernández, 2011).

Las redes eléctricas inteligentes, conforman un proyecto que busca desarrollar una red eléctrica que puede integrar de manera inteligente las

acciones de todos los usuarios conectados a ella, incluidos los generadores, los consumidores y aquellos que realizan ambas acciones para entregar de manera eficiente el suministro de electricidad sostenible, económico y seguro, que por ende, mejorará la calidad del suministro eléctrico, de acuerdo con los avances de la era digital (Etsi, 2010; Andrés et al, 2011; González López, 2012).

Una red eléctrica inteligente es capaz de integrar tecnologías avanzadas de medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, a fin de mejorar la eficiencia, confiabilidad, calidad o seguridad del sistema eléctrico de un área determinada. En la **Figura 2**, se muestra la representación simplificada de los agentes involucrados en las redes eléctricas inteligentes, siendo la modernización de la red eléctrica, la medición, el control y la comunicación fundamental para el desarrollo de los sistemas eléctricos. (Secretaría de Energía, 2016)



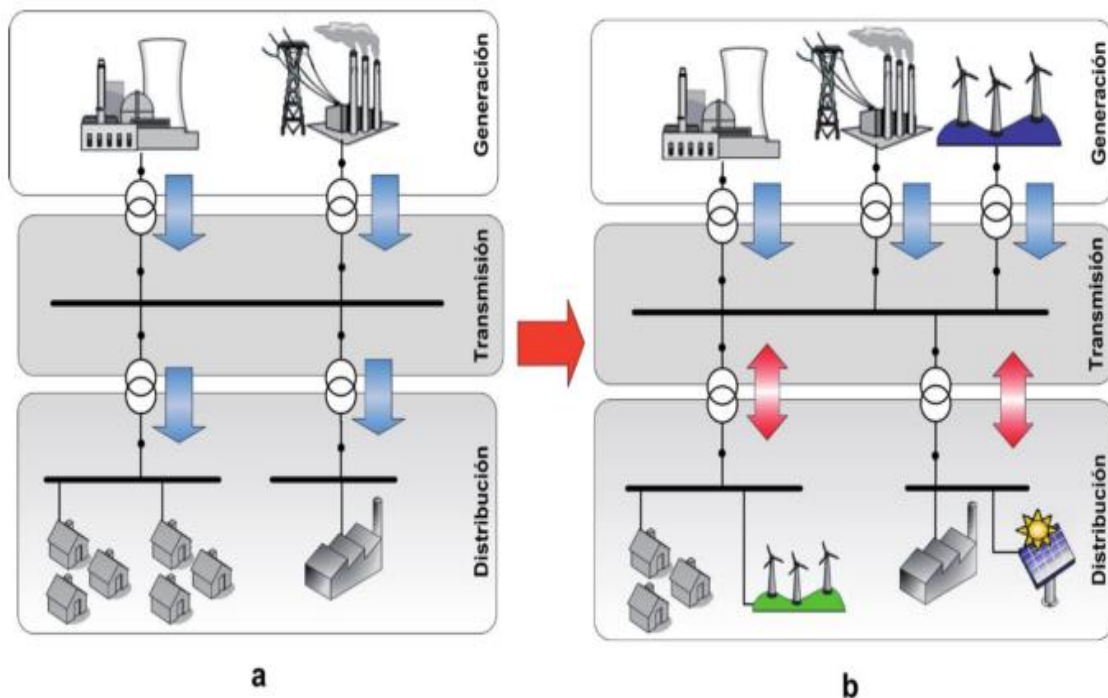
**Figura 2. Componentes fundamentales de una REI (Secretaría de Energía, 2016).**

### 2.1.1. Paradigma Bidireccional.

El principio básico que está detrás de esta nueva red eléctrica inteligente es el flujo bidireccional de información y de electricidad entre el cliente y la compañía eléctrica (Martínez Ochoa, 2012).

Una de las características más importantes que diferencian una red eléctrica inteligente de una tradicional es su capacidad de soportar un flujo de energía bidireccional, es decir, de pasar del esquema en que el flujo de energía va solo desde las grandes plantas de generación hacia los usuarios finales, particulares o industriales ( **Figura 3 a**) a otro que incorpora y aprovecha la capacidad de almacenamiento y generación distribuida, con un rol activo para los usuarios, en el que son capaces de proveer energía a otros usuarios ( **Figura 3 b**) (Andrés et al., 2011).

Además, en un sistema que permita la comunicación bidireccional entre el consumidor final y las compañías eléctricas, la información proporcionada por los consumidores es utilizada por las compañías para permitir una operación más eficiente de la red eléctrica. Así mismo, Verschueren et al., (2010); Andrés et al., (2011), indican que dicha información permitirá ofrecer nuevos servicios a los clientes de forma complementaria a la propia energía eléctrica, tales como: monitoreo en línea del consumo, servicio de carga de vehículos eléctricos, negociación de energía con los sistemas de almacenamiento distribuido y de generación renovable, entre otros.



**Figura 3. Sistema eléctrico tradicional (a) y de próxima generación (b) (Andrés et al., 2011).**

## 2.1.2. Objetivos de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Las redes eléctricas inteligentes utilizan equipos y servicios innovadores, junto con nuevas tecnologías de comunicación, control, monitorización y auto-diagnóstico, que ayudarán a conseguir los siguientes objetivos (Martínez Ochoa, 2012; Energía y Sociedad, 2010):

- **Automatizar la red eléctrica mejorando la operación**, los índices de calidad y las pérdidas en la misma;
- **Optimizar la conexión de las zonas con fuentes de energía renovable**, optimizando las capacidades de conexión y minimizando el costo de conexión de las mismas;
- **Desarrollar arquitecturas de generación descentralizadas**, permitiendo el funcionamiento de instalaciones de menos tamaño (DG) en armonía con el sistema;
- **Mejorar la integración de la generación intermitente y de nuevas tecnologías de almacenamiento**;
- **Avanzar en el desarrollo del mercado de la electricidad**, posibilitando nuevas funcionalidades y servicios a los comercializadores y a consumidores;
- **Gestionar activamente la demanda**, permitiendo que los consumidores gestionen de manera eficiente sus consumos y mejorando la eficiencia energética;
- **Posibilitar la penetración del vehículo eléctrico**, habilitando las funcionalidades de almacenamiento de energía que poseen.

La base de la red eléctrica inteligente son los “*contadores o medidores inteligentes*” que identifican cada uno de los equipos que producen o consumen energía, enviando la información medida por sistemas de telecomunicaciones o internet.

Una red eléctrica inteligente es capaces de detener temporalmente o arrancar equipos que no son indispensables, en función a la situación de la red eléctrica o del costo de energía presentes en diferentes horas de consumo energético. Aquí, el balance entre la reducción de CO<sub>2</sub> y la protección del

ambiente predomina sobre la libertad del individuo a la hora de utilizar indiscriminadamente sus artefactos (Martínez Ochoa, 2012; González López, 2012).

### 2.1.3. Características y Diferencias Principales de las Redes Eléctricas Inteligentes.

En este apartado se muestra las diversas diferencias que se presentan entre las redes eléctricas convencionales y las nuevas redes eléctricas inteligentes.

Por tal razón, a continuación se muestra en la **Tabla 1** las principales características de las redes eléctricas inteligentes, realizando una comparación de dichas características con lo equivalente a una red eléctrica convencional.

**Tabla 1. Características de la REI y de una REC (Martínez Ochoa, 2012; Fedit, n.d; González López, 2012).**

CARACTERÍSTICA	RED ELÉCTRICA CONVENCIONAL	RED ELÉCTRICA INTELIGENTE
<b>Automatización</b>	Existencia limitada de elementos de monitorización.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
<b>Inteligencia y control.</b>	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual.	Se enfatiza en la creación de un sistema de información e ID en el sistema.
<b>Autoajustes.</b>	Se basa en el ajuste manual de las protecciones de dispositivos antes de que se presenten anomalías en el sistema.	Automáticamente detecta y responde a transmisiones actuales y problemas en la distribución. Su enfoque se basa

		en la prevención. Minimiza el impacto en el consumidor.
<b>Participación del consumidor y DG.</b>	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación masiva de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
<b>Resistencia ante ataques.</b>	Infraestructuras totalmente vulnerables.	Resistencia ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
<b>Gestión de la demanda.</b>	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horaria del día, o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos inteligentes, que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética, señales de precio y seguimiento de programas de operación predefinidos.
<b>Calidad eléctrica.</b>	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de calidad eléctrica. De esta forma persisten problemas de huecos de tensión, perturbaciones, ruidos eléctricos, etc....	Calidad eléctrica que satisface a industria y clientes. Identificación y resolución de problemas de calidad eléctrica.
<b>Vehículos eléctricos.</b>	Recientemente se están empezando a incorporar puntos de recarga eléctrica en la red, que solo permiten la recarga de las baterías de los vehículos.	La incorporación de los vehículos eléctricos a la red, está demandando nuevas infraestructuras especialmente destinadas a la recarga y a

		permitir que cada vehículo puede convertirse en pequeñas fuentes de generación
<b>Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento.</b>	Insuficiente el número de grandes generadores. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.	Gran número de diversos dispositivos generadores almacenadores de energía para completar a las grandes plantas generadoras. Más enfocado en energías renovables.
<b>Optimización del transporte eléctrico.</b>	Perdidas de gran cantidad de energía debido a la poca eficiencia en el transporte eléctrico.	Sistemas de control inteligente que permitan extender los servicios de intercambio entre los distintos agentes del mercado eléctrico y asimismo, aprovechar eficientemente la capacidad de transmisión de la red.
<b>Preparación de mercados.</b>	Los mercados de venta al por mayor siguen trabajando para encontrar los mejores modelos de operación. No existe una buena integración entre éstos. La congestión de la transmisión separa compradores de vendedores	Buena integración de los mercados al por mayor. Prósperos mercados al por menor. Congestionamientos de transmisión y limitaciones mínimas.
<b>Optimización de bienes y funcionamiento eficiente.</b>	Integración mínima de los datos de operación y la gestión de bienes. Mantenimiento basado en tiempo.	Censado y medida de las condiciones de la red. Tecnologías integradas para la gestión de los bienes. Mantenimientos basados en las condiciones de la red.

En pocas palabras se presenta el resumen de lo expuesto anteriormente sobre las características y diferencias de las redes eléctricas inteligentes (Martínez Ochoa, 2012):

- **El cliente.-** Consumen cuando es más barato, por tanto, los clientes son productores y la demanda se gestiona de manera precisa y eficiente;
- **La eficiencia dirige la gestión de la red.-** Se genera la cantidad necesaria de energía y la demanda se gestiona de manera precisa y eficiente;
- **La red se configura rápidamente.-** El suministro eléctrico es fiable y de alta calidad digital;
- **Integración eficiente de DG.-** Lo que garantiza la sostenibilidad;
- **Se adapta rápidamente a los cambios.-** Tecnológicos, nuevos servicios, legislación, parámetros, ...etc;
- **Permite una gestión y toma decisiones descentralizada;**
- **La innovación.-** Alcanza a los procesos de negocio, no solo a la tecnología.

#### **2.1.4. Micro Redes Eléctricas Inteligentes.**

Otra alternativa que se presenta con gran fuerza son las microrredes eléctricas inteligentes, concepto en el que la energía se produce, trasmite, consume, monitoriza y gestiona a nivel local como parques empresariales, universidades, pero también podría ser vecindarios o urbanizaciones, y que lógicamente tendrían una integración con la red central, funcionando de forma aislada o en conexiones según las situaciones que convengan (González López, 2012).

Las microrredes inteligentes representan una de las principales áreas de crecimiento en los últimos años y sin duda desempeñan un papel cada vez más importante para satisfacer la demanda local, mejora la confiabilidad y garantizar el control local de electricidad, en al menos donde sea visible financieramente.

Las microrredes son pequeños sistemas de potencia de varios megavatios (MW) o en menor escala con tres características principales: generadores distribuidos con capacidad de almacenamiento opcional, centro de carga

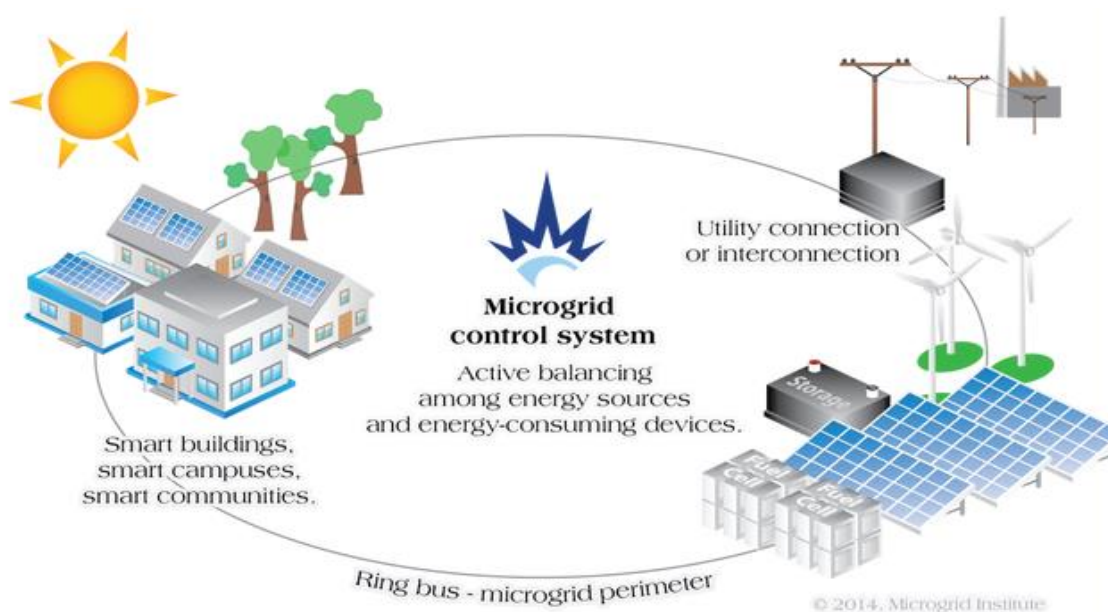
autónoma, y capacidad de interconectarse con una red aún más grande. Comúnmente el almacenamiento puede ser proporcionado por baterías, súper capacitores, u otras fuentes.

Una microrred puede servir como plataforma ideales para realizar objetivos combinados de una red inteligente, incluida la fiabilidad, integración de energías renovables, diversificación de las fuentes de energía y respuesta flexible a la demanda (Nordman, 2009).

A medida que la cantidad de instalaciones solares residenciales y comerciales continúan creciendo a ritmo acelerado a nivel mundial, las empresas están buscando dar el siguiente paso para incorporar sistemas de energías renovables económica y técnicamente sustentables en el panorama energético. El siguiente paso es el desarrollo de un modelo comercial y tecnológico integrado para construir una microrred que pueda operar únicamente con energía renovable e independientemente del sistema de red de energía más grande (Miret, 2015).

Se trata por tanto de sistemas híbridos formados por la integración de varios sistemas de generación, tanto convencionales como de origen renovable, con objeto de garantizar una base de continuidad en el suministro eléctrico. La configuración típica de un sistema híbrido es la siguiente (Fossati, 2011):

- Varias unidades de generación de fuentes renovables: eólica, fotovoltaica e hidroeléctrica;
- Una o más unidades de generación convencional;
- Sistemas de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico;
- Sistema de acondicionamiento de potencia: inversor, rectificadores y reguladores de carga;
- Sistema de regulación y control;
- Cargas;
- Se trata en definitiva de pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica y térmica auto gestionados localmente, de forma que podría funcionar tanto conectado a la red pública de distribución como aislados de la misma (**Figura 4**).



**Figura 4. Microrred con interconexión de servicios públicos (Miret, 2015).**

### 2.1.5. Retos de la Red Eléctrica Inteligente.

Algunos de estos retos son fruto principalmente de la necesidad de mitigar el impacto de los fallos de la red eléctrica y las alteraciones en la calidad de la potencia sobre los clientes tanto domésticos como industriales. Además de reducir el factor económico, el objeto de mayor importancia es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, y así obtener un sistema sostenible, ya que se presenta como el objetivo a obtener de mayor importancia a la hora de implementar una red eléctrica inteligente. Las energías renovables, tales como la solar o eólica, debido a su naturaleza intermitente, no permiten un suministro a la medida de las necesidades, ya que la cantidad de energía generada no puede ni predecirse ni planificarse, aun cuando se han realizado importantes avances en la predicción a corto plazo (T. García et al., 2011).

Por otra parte las redes eléctricas inteligentes del futuro deberán ser capaces de incorporar vehículos eléctricos, que en gran parte brindan sostenibilidad en términos de movilidad y almacenamiento energético para diferentes situaciones catastróficas.

Así pues teniendo en cuenta el complejo escenario que se ha descrito anteriormente, los retos de la red eléctrica inteligente pueden dividirse en tres grupos principales (García et al., 2011; Verschueren et al., 2010):

- **Retos tecnológicos.**- Engloban básicamente la obtención de estrategias de comunicación distribuida, el desarrollo de sistemas avanzados de control, gestión de la tolerancia a fallos, optimizando latente y ancho de banda, el tratamiento masivo de datos y el diseño de nuevos dispositivos de almacenamiento energético;
- **Retos económicos.**- Se debe tomar en cuenta los nuevos modelos de negocios ligados a una nueva forma de concebir el futuro mercado de la energía. Por ejemplo, las estrategias para la respuesta activa a la demanda ayudarán a disminuir los picos de consumo en el sistema energético, acoplándose a los patrones de consumo de los usuarios;
- **Retos regulatorios.**- Están relacionados con el establecimiento de estándares, que a diferentes niveles especifique las bases para la interoperabilidad, la cual es necesario para que la red eléctrica inteligente sea viable.

## 2.1.6. Tecnología de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Con el objetivo de obtener una red más inteligente el esfuerzo de los trabajadores de investigación y desarrollo se ha concentrado en las siguientes áreas tecnológicas clave (T. García et al., 2011):

- **Monitorización y control de área extensa.**- Los sistemas de monitorización y control de área extensa tienen la responsabilidad de prevenir y mitigar las posibles alteraciones que pueda haber en la red eléctrica. Para ello, las operaciones avanzadas dirigidas a identificar la presencia de inestabilidades, ayudar en la integración de fuentes de energía renovables o mejorar e incrementar las capacidades de transmisión. Estos sistemas procesan de manera centralizada todos los datos recogidos de las diferentes fuentes distribuidas, y a partir de ellos,

evalúan el estado de la red eléctrica. Por lo tanto las principales funciones que realizan la monitorización y control de área extensa, se asocian a tres etapas diferentes: adquisición, entrega y Procesamiento de los datos (Zima, Larsson, & Korba, 2005);

- **Integración de las tecnologías de la información y las comunicaciones.-** Un aspecto esencial de la red eléctrica inteligente es la necesidad de un intercambio de información en tiempo real, el cual debe basarse en una infraestructura de comunicación que soporte la integración de dispositivos distribuidos y heterogéneos;
- **Integración de los sistemas distribuidos de energías renovables.-** La generación distribuida tiene como reto la inserción a nivel de distribución de numerosas fuentes de energía de pequeño tamaño. El aumento de los DG de electricidad renovable, como las células solares y las turbinas eólicas, requiere un nuevo sistema de gestión energética. Estos DG introducen flujos de energía bidireccionales en la red eléctrica de baja tensión. Cuando estos sistemas de generación utilizan fuentes renovables aparecen nuevos retos ligados a la dificultad de predecir y gestionar la disponibilidad de esos recursos, lo que requiere nuevos mecanismos de coordinación para equilibrar la oferta y la demanda local, lo que hace que aumenten los problemas de estabilidad y planificación de la red eléctrica (Verschueren et al., 2010). Actualmente la generación distribuida basada en energías renovables está incrementando notablemente en algunos países a nivel mundial. Por lo tanto, surge la necesidad de una estrategia que incluya especificaciones claras y definiciones del sistema inherente a la vanguardia (Mohd et al., 2008);
- **Aplicaciones para la mejora de la transmisión.-** La etapa de transmisión de electricidad es la responsable de trasladar la potencia generada en las plantas de generación hasta las subestaciones de distribución. Actualmente se está estudiando como incrementar la capacidad de transmisión utilizando distintos métodos, tales como los sistemas de FACTS, HVDC, HTS o mediante DLR;
- **Gestión de la red de distribución.-** La idea de tras de este concepto es conseguir una mejora sustancial de las comunicaciones entre todos los elementos del sistema de distribución. Las principales aplicaciones de la

tecnología a la gestión de la red de distribución se dirigen a la realización de tareas tales como balanceo de carga, optimización, detección de fallos, recuperación, ...Etc;

- **Infraestructura de medición avanzada.-** Las tecnologías que se agrupan bajo el paraguas de los sistemas avanzados de medición tienen como objetivo proporcionar un valor añadido sobre la funcionalidad básica de medir o contar. La aplicación más conocida es la que consiste en permitir una facturación dinámica en función de los periodos de uso de la energía, esto significa, que el cliente puede reducir de los picos de demanda. Para ello, el sistema de medición avanzado se compone de tres elementos: un medidor inteligente, el módulo de comunicación y una aplicación para la gestión de los datos medidos (Hornby, Salamone, Perry, White, & Takahashi, 2008);
- **Infraestructura de recarga de vehículo eléctrico.-** Uno de los argumentos fundamentales sobre él apoya la red eléctrica inteligente es obtener una visión más sostenible de la generación de energía y del proceso de consumo. Así, la mayor prioridad es minimizar la emisión de gases de efecto invernadero, y en este sentido, los vehículos eléctricos aparecen como una solución a esta preocupación. Además el papel que juegan este tipo de vehículo dentro de la red eléctrica inteligente es incluso más relevante si tenemos en cuenta su capacidad para trabajar como unidades de almacenamiento de energía distribuidas;
- **Sistema en el lado del cliente.-** Estos sistemas están destinados a realizar todas aquellas funciones que permitan un uso más eficiente de la energía eléctrica, así como una reducción en el costo de la misma. Los sistemas del lado del cliente incluye no solo los sistemas de gestión energética, sino elementos de almacenamiento, electrodomésticos inteligentes y pequeños sistemas de generación.

## 2.1.7. Funciones de las Tecnologías de la Red Eléctrica Inteligente.

Las funciones de las tecnologías están direccionadas a los elementos de red eléctrica inteligente, ya que se basan en el debido funcionamiento de estos elementos (Secretaría de Energía, 2016):

- **Cambio a modo isla y reconexión automática.-** El cambio a modo isla se puede realizar por una separación o su subsecuente reconexión automática ante la presencia de una falla o situación requerida para la debida gestión energética;
- **Control de flujo de potencia.-** Se utilizan herramientas como los sistemas flexibles de transmisión en AC, transformadores reguladores de ángulo de fase en serie, y superconductores de muy baja impedancia;
- **Control de voltaje y VAr automático.-** Esta función puede operar de manera autónoma en respuesta a eventos locales o en respuesta a señales de un sistema de control central;
- **Diagnóstico y notificación de la condición de equipos.-** Notifica automáticamente a los encargados de los equipos para que respondan a condiciones que podrían incrementar la probabilidad de fallas del equipo;
- **Limitar la corriente de falla.-** Puede ser obtenida a través de sensores, comunicaciones, procesamiento de información y actuadores que permiten la coordinación y reconfiguración del sistema para prevenir que las corrientes de fallas excedan los límites de daños en los equipos;
- **Medición y administración de carga en tiempo real.-** Esta función proporciona medición en tiempo real del consumo perteneciente al usuario final;
- **Monitoreo, visualización y control de área amplia.-** permite observar la condición de la red eléctrica y analizar la información en tiempo real, de manera que se puedan tomar acciones de manera oportuna;
- **Protección adaptable.-** Utiliza parámetros ajustables en tiempo real basado en señales de sensores de un sistema de control local o central. Esto es particularmente útil para situaciones con flujo de potencia bidireccional;

- **Trasferencia de carga en tiempo real.-** Se logra a través de una reconfiguración en tiempo real de los alimentadores, así como la optimización para reducir la carga en equipos, mejora la utilización de equipos, mejorar la eficiencia del sistema de distribución y mejora el desempeño del sistema;
- **Detección de falla, aislamiento y reconexión.-** Se logra a través de los equipos de protección y seccionamiento con la posibilidad de interactuar o no con sistema de control central, ubicando las fallas en sistemas eléctricos, para posteriormente aislarlas después se recuperan los tramos no fallados para dejar la mayor cantidad de usuarios con servicios de energía eléctrica.

### **2.1.8. Beneficios de las Tecnologías de la Red Eléctrica Inteligente.**

Los beneficios son medidos en función de los elementos tal y como se lo realiza en las funciones de las tecnologías de las redes eléctricas inteligentes, esto se debe al grado de aportación que tienen los elementos con el cumplimiento de los beneficios que brindan las tecnologías en la red eléctrica inteligente. Por tal razón, a continuación se puede apreciar los beneficios que brindan las tecnologías (Secretaría de Energía, 2016):

- **Definir inversión de capacidad de generación.-** Las compañías eléctricas y el operador del sistema asegura que la capacidad de generación de energía eléctrica puede suministrar la máxima cantidad de carga que los pronósticos de planeación y operación señalan;
- **Optimizar la operación de las centrales eléctricas.-** Un mejor pronóstico y monitoreo de la demanda y del desempeño de la red eléctrica permite al operador del sistema despachar centrales eléctricas más eficiente optimizando la operación para reducir costos;
- **Reducir los costos de mantenimiento en equipos de transmisión y distribución.-** Los costos de enviar personal técnico a sitios para revisar las condiciones de los equipos son altos. Sin embargo, para asegurar que el equipo recibe el mantenimiento suficiente, e identificar precursores de

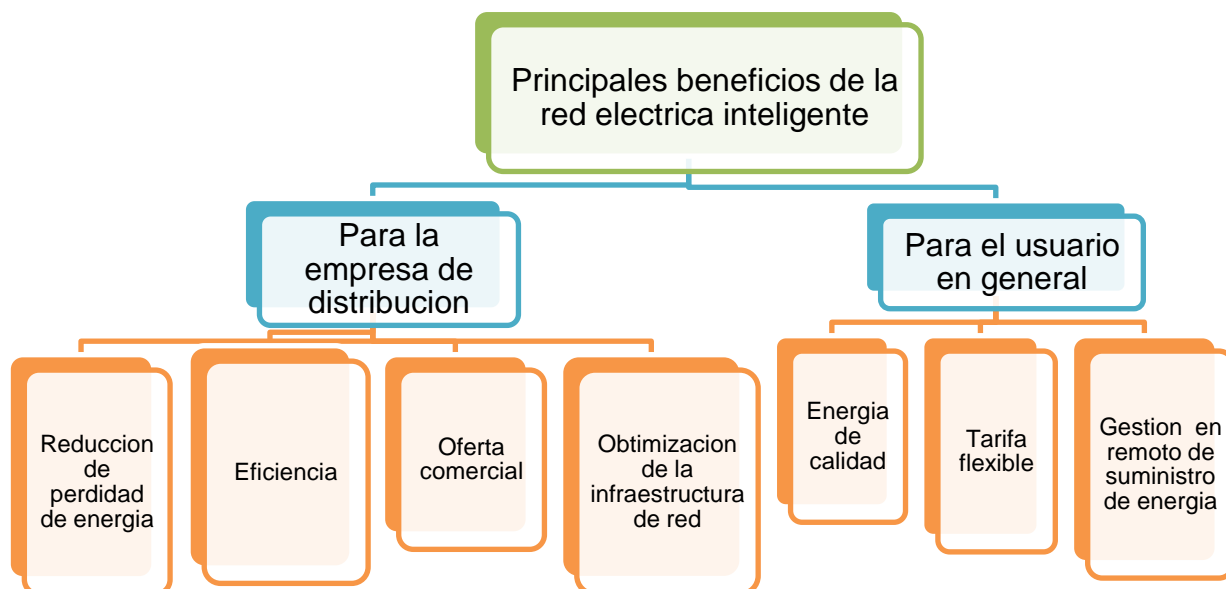
las fallas, las compañías eléctricas podrían realizar pruebas y mantenimientos de manera más frecuente de lo necesario. Un diagnóstico y reporte en línea de la condición de los equipos podría reducir, o incluso eliminar, la necesidad de enviar personal a revisar las condiciones de los equipos;

- **Reducir los costos de operación de transmisión y distribución.-** Una operación automatizada o controlada de manera remota de bancos de capacitores y de alimentadores elimina la necesidad de enviar a personal técnico para operarlos de manera local. Esto reduce el costo asociado con el personal y su transporte;
- **Reducir los costos de lectura de medición.-** Los equipos de lectura y medición automatizada eliminan la necesidad de enviar personal para tomar las lecturas de manera local;
- **Reducir las pérdidas no técnicas.-** Los medidores inteligentes pueden detectar manipulación del propio medidor. Adicionalmente, un sistema de administración de medidores puede analizar la demanda del usuario final e identificar patrones que puedan indicar una desviación de lo normal;
- **Reducir las pérdidas técnicas.-** Los dispositivos que contribuyen a manejar los picos de demanda, localizar la producción de energía más cercana al centro de consumo, así como asegurar que los niveles de tensión se mantengan dentro de las tolerancias definidas, mientras se minimiza la cantidad de potencia reactiva suministrada, pueden contribuir a mejorar el  $F_p$  y a reducir las pérdidas para una demanda suministrada;
- **Reducir los cortes sostenidos de suministro eléctrico.-** Reducir la probabilidad de que suceda un corte de suministro eléctrico, y permite que el sistema sea reconfigurado en la marcha para ayudar a restablecer el servicio a la mayor cantidad de usuarios posibles;
- **Reducir el costo de restauración del suministro eléctrico.-** Los costos de restauración pueden incluir el personal requerido para restablecer el sistema, incluyendo su material, equipo y traslado, servicios de soporte como la lógica, centros de atención de llamadas, así como el tiempo de otro personal de apoyo;
- **Reducir los cortes momentáneos de suministro eléctrico.-** Al localizar fallas o al agregar almacenamiento de energía eléctrica, los cortes

momentáneos o disturbios en la línea pueden ser reducidos o eliminados. Por lo tanto, menos usuarios conectados en el mismo circuito tendrán problemas de variaciones en la tensión causando fallas;

- **Reducir variaciones rápidas o pérdidas de tensión.-** Al localizar fallas de alta impedancia de manera más rápida y precisa, y al agregar almacenamiento de energía, se podrían reducir la severidad y frecuencia de las fluctuaciones de tensión, mientras menos. Usuarios finales en el mismo circuito percibirán los efectos causados por la falla;
- **Reducir emisiones de CO<sub>2</sub>.**- Mejoras que se traducen en una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por centrales eléctricas que operan con combustibles fósiles;
- **Reducir cortes de suministro eléctrico de gran escala.-** Al proporcionar al operador del sistema una mejor imagen del sistema eléctrico, y además permitirles coordinar mejor los recursos y operaciones entre regiones, podría reducir la probabilidad de interrupciones de suministro eléctrico en gran escala.

En pocas palabras la implementación de una red eléctrica inteligente ya sea en los diferentes escenarios de consumo eléctrico, dejara benéficos tanto para la empresa encargada de distribuir y comercializar la energía, y para el usuario final. Por tal razón, en la **Figura 5** se expone el resumen de los principales beneficios que se obtienen con la implementación de una red eléctrica inteligente.



**Figura 5. Beneficio que brinda la REI (Martínez Ochoa, 2012).**

### 2.1.9. Barreras en el Desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente.

Es evidente, que todo desarrollo tecnológico por aconsejable y buena que sea, conlleva a una serie de inconvenientes y barreras que se oponen en la implementación de este tipo de sistemas inteligentes. Por razón, a continuación se detallan las barreras que se presentan en el desarrollo de una red eléctrica inteligente (Energía y Sociedad, 2010; Martínez Ochoa, 2012):

- **Madurez tecnológica.-** La falta de tecnologías estándares aumentan el riesgo de inversión, y las escasas pruebas pilotos de escala suficiente hacen que las estimaciones y supuestos considerandos no sean fiables;
- **Caso Comercial (*Business Case*).**- Los costos de inversión y operación son aún demasiado altos (no existe aún economía de escala) y por otra parte los beneficios que pretenden conseguir son difícilmente cuantificables e imputables a cada agente;
- **Falta de concienciación.-** Por otra parte los reguladores, del papel que juegan las redes eléctricas inteligentes en los objetivos de fomentar las energías renovables, y eficiencia energética, reducción de CO<sub>2</sub> y la necesidad de fomentar la inversión en las redes eléctricas;

- **Normativa y regulación.-** En algunos casos impone limitaciones o barreras técnicas y en otras no genera incentivos suficientes para la inversión;
- **Acceso a las fuentes de financiación.-** Cuando se cambia el modelo de negocio y se aumentan los riesgos de una actividad regulada, aumentan los costos de financiamiento, lo que hace menos rentables las inversiones;
- **Confiabilidad y privacidad de los datos.-** El detalle y volumen de la información que estará disponible sobre cada consumidor puede generar graves perjuicios si se usa de manera inadecuada.

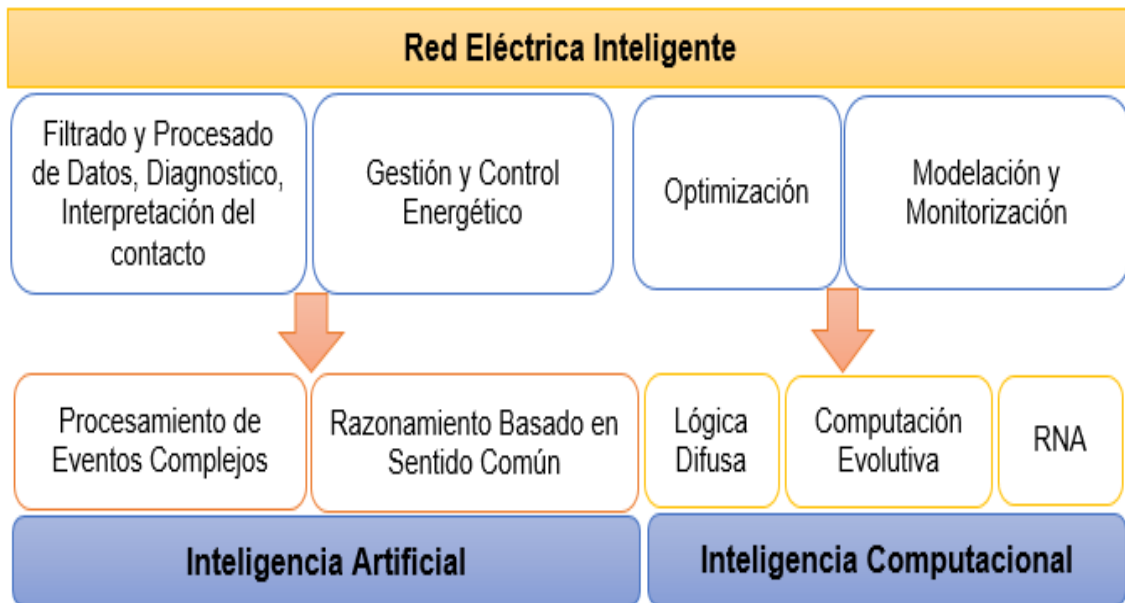
## 2.1.10. Gestión Energética con Elementos Fotovoltaicos.

La implementación de sensores y medidores en los sistemas eléctricos, es de gran importancia, esto se debe a que ayudan a resolver problemas energéticos y medioambientales. Muchos investigadores tienen por objetivo encontrar la mejor solución para el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos, tal es el caso de Akira et al., (2012); que realiza un estudio para el control de la potencia reactiva en los DG en sistemas de distribución con una gran cantidad de energía fotovoltaica. En este mismo trabajo se da a conocer, que en la actualidad el aprovechamiento de energías renovables es la principal importancia para la comunidad entera, sin dejar a un lado, que, “cuando una gran cantidad de DG se introducen en las redes de distribución, pasan a ser un problema que impide mantener el perfil de tensión debido al aumento de tensión producido por causa de la fuerza de retorno”, esto se produce cuando en la red existe gran cantidad de energía fotovoltaica. Los sensores y medidores dentro de los sistemas eléctricos tanto en baja, media y alta tensión son la opción con mayor influencia, ya que con ellos se puede obtener resultados de mayor veracidad y confiabilidad; el único inconveniente es el costo asociado a los mismos, por tal motivo se realizan estudios constante sobre las nuevas tecnologías de sensores y medidores que puedan realizar diversas funciones sin necesidad de incorporar varios equipos a la vez.

El uso de redes de comunicaciones inteligentes para sensores y actuadores es muy viable dentro de sistemas eléctricos inteligentes, inclusive a través de agentes inteligentes que generan sistemas muy robustos y rápidos. Esto lo confirman muchos investigadores como Restrepo, Pezoa, & Ovalle, (2014) y Elena & Medina, (2012) que estudian un modelo de inteligencia ambiental facilitado por la integración de WSN con agentes inteligentes, el cual tiene la capacidad de ofrecer aspectos tales como conocimiento de contexto (sensible al entorno en el que actúa) y redes inalámbricas más inteligentes. Por tanto, al aplicar este tipo de tecnología en los sistemas eléctricos que contienen un autoconsumo de energía mediante el aprovechamiento de los recursos naturales, se obtendrá mayor eficiencia y control de la energía que se requiere para cualquier establecimiento.

## **2.2. Herramientas y Técnicas Fundamentales para la Obtención de una Red Eléctrica Inteligente.**

Una vez que se han conocido los elementos, características y tecnologías que conforman una red eléctrica inteligente, se procede a incursionar en las herramientas y técnicas que hacen de la red eléctrica inteligente una realidad. En la **Figura 6**, se detalla cuáles son los requerimientos fundamentales en el proceso a seguir para la creación de una red eléctrica inteligente.



*Figura 6. Requerimientos para la obtención de una REI.*

### 2.2.1. Filtrado y Procesamiento de Información para la Correcta Gestión energética de una Red Eléctrica Inteligente.

La información requerida por una red eléctrica inteligente para una correcta gestión energética debe ser analizada de diferentes formas, ya que, esto permite que cada uno de los procesos que se cumplen con la misma sean seguros, garantizando su correcto funcionamiento. De esta forma, se describe a continuación los procesos que se deben cumplir para una correcta gestión energética por parte de la red eléctrica inteligente:

- **Procesado de información en eventos complejos.-** A partir de un buen aprendizaje, se podrá detectar cualquier anomalía que se presente en el sistema eléctrico en tiempo real por muy complejo que sea el evento;
- **Razonamiento basado en sentido común.-** En este razonamiento se toman ciertos parámetros que utiliza el razonamiento cualitativo, debido, a la capacidad que tiene el sistema eléctrico inteligente en aprender sobre cualquier anomalía o evento que se presente, y por consiguiente la actuación estará direccionada hacia lo más práctico, pero brindando eficiencia, calidad, seguridad y confort.

Con las consideraciones antes mencionadas se logra encaminar los sistemas eléctricos en la obtención de un sistema eléctrico totalmente inteligente. El objetivo principal es darle al sistema eléctrico una IA, que permita gestionar, monitorizar y tomar decisión por si solo en función a los requerimientos o situaciones que se presenten en un momento dado.

### **2.2.2. Inteligencia Artificial.**

Para la concepción de una red eléctrica inteligente es necesario la utilización de IA (ver **Figura 6**), ya que esta brinda las herramientas necesarias para la obtención de un sistema inteligente. No obstante, cada sistema inteligente tiene herramientas y metodologías designadas para su obtención o elaboración; en este caso la IA se adaptan a los sistemas por muy complejos que sean. Por tal razón, en este apartado se exponen las características que brindará la red eléctrica inteligente en conjunto con las técnicas a utilizar para la obtención del sistema inteligente con la incorporación de IA.

En la actualidad es común escuchar y presenciar los avances tecnológicos en las edificaciones, ya sea en los sistemas de infraestructura como en el diseño eléctrico, esto se debe a la incorporación de sistemas inteligentes que pasan a ser el factor de mayor importancia en cualquier edificación moderna. Los países Europeos son los pioneros en la implementación de este tipo de IA, marcando un gran hito en la historia sobre los avances tecnológicos en edificaciones inteligentes; además utilizan gran cantidad de energías renovables para reducir los pagos energéticos y así abarcan un campo muy importante como lo es la gestión eficiente en el uso racional de energía.

De la bibliografía revisada, se han encontrado trabajos relacionados a sistemas de control y redes basados en IA e IAD. Iglesias, (2010), muestra en su trabajo doctoral una experimentación con dispositivos de bajo costo, para la construcción de instrumentos de medición electrónicos que permita la optimización de los sistemas basados en energía solar, logrando muy buenos resultados en mediciones, estabilidad y bajo consumo de energía. Dispositivos que van desde microcontroladores de 8 bits a sensores digitales de bajo costo.

Permiten diseñar sistemas que alberguen complejos algoritmos que controlan el normal funcionamiento de los mismos.

Es difícil dar una argumentación o definición de lo que es en realidad la IA, esto se debe a la complejidad de su entorno y la gran capacidad de utilidad en todas las áreas de estudio. Muchos autores citan las diferentes definiciones de la IA que recopilaron de la búsqueda de información en diferentes trabajos científicos.

Galán Asencio & Martínez Bowen, (2010), citaron las siguientes definiciones sobre la IA:

- *“Capacidad que tienen las máquinas para realizar tareas que en el momento son realizadas por seres humanos”;*
- *“Campo de estudio que se enfoca en la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales basados en la experiencia y el conocimiento continuo del ambiente”;*
- *“Rama de la ciencia de la computación que estudia resoluciones de problemas no algorítmicos mediante el uso de cualquier técnica de computación disponible, sin tener en cuenta la forma de razonamiento subyacente a los métodos que se apliquen para lograr esa resolución”.*

Lustosa, (2004), cito las siguientes definiciones sobre la IA:

- *“Inteligencia artificial es juzgar bien, comprender bien y razonar bien”;*
- *“Representa un atributo o propiedad distintiva de algunas organizaciones”;*
- *“Capacidad de adaptación del organismo a una situación nueva”.*

La IA abarca un campo muy extenso en la actualidad, ya que todo el desarrollo tecnológico a nivel mundial contiene cierta inteligencia que le permite actuar de forma autónoma, con una gran capacidad de entender, asimilar, gestionar información y utilizarla de forma adecuada es decir, que tiene la capacidad de aprender (Galán Asencio & Martínez Bowen, 2010).

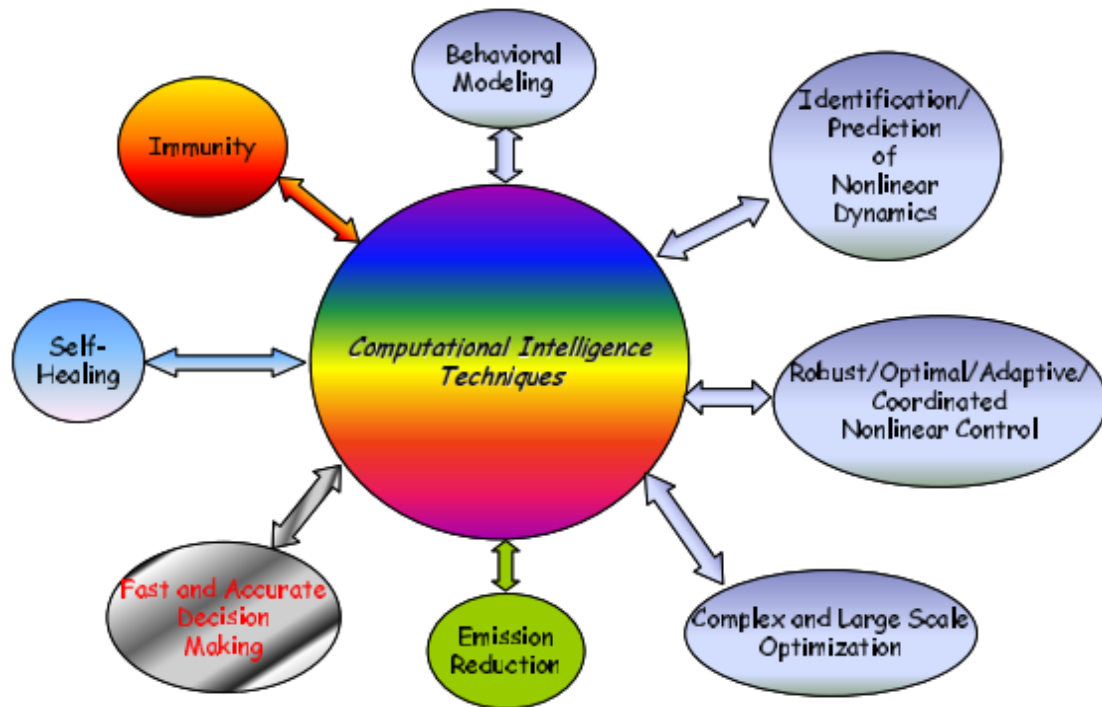
### **2.2.3. Modelación, Monitorización y Optimización: Factores Fundamentales en el desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente.**

La **Figura 6**, muestra las técnicas que se requieren para el cumplimiento de la optimización, modelación y monitorización, que deben tener las redes eléctricas inteligente. Para esto se utilizan muchas técnicas y metodologías, tal y como se lo puede apreciar en el trabajo expuesto por Galán Asencio & Martínez Bowen, (2010), ya que hace mención a la utilización de la IC y las técnicas como lógica difusa, RNA y computación evolutiva, que son los requerimientos fundamentales para su aplicación. Estas técnicas consisten en el conocimiento y manejo de modelos que permitan la ejecución de cualquier función destinada a mejorar un determinado sistema. Por esta razón, se requieren de la IC y sus técnicas para el cumplimiento de los parámetros antes mencionado, ya que de esta forma se le brindara inteligencia a cualquier sistema eléctrico.

La IC es el estudio de los agentes inteligentes (un agente es cualquiera que actúa en un entorno) y mecanismos de adaptación que permiten y facilitan el comportamiento inteligente en entornos complejos, inciertos y cambiantes. Los paradigmas de IC imitan a la naturaleza para resolver problemas complejos (Venayagamoorthy, 2009; Jim & Guti, 2000).

### **2.2.4. Inteligencia Computacional en el Desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente.**

Las técnicas avanzadas de IC se han aplicado para resolver problemas desafiantes hoy en los sistemas de energía eléctrica. Los métodos de IC pueden contribuir a los sistemas de energía eléctrica y redes inteligentes de varias maneras, como se ilustra en la **Figura 7** (Venayagamoorthy, 2009).



**Figura 7. Capacidades de los métodos de IC para REI (Venayagamoorthy, 2009).**

Las técnicas de mayor utilización para la obtención de una red eléctrica inteligente, se caracterizan como técnicas de identificación y modelado, las cuales se basan en técnicas de aprendizaje supervisado, entre las que se destacan la lógica difusa, computación evolutiva y la red neuronal artificial (Venayagamoorthy, 2009).

### 2.2.5. Lógica Difusa.

Básicamente la lógica difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento (González Morcillo, 2011). Por otra parte se puede decir que la lógica difusa o borrosa, es la que utiliza expresiones que no son ni totalmente ciertas ni completamente falsas, es decir, es la lógica aplicada a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total (Ramirez, Barriga, Baturone, & Sanchez Solano, 2005).

Las lógicas difusas, pues de hecho hay que hablar de ellas en plural, son esencialmente lógicas multivaluadas que extienden a las lógicas clásicas (Morales-luna, 2002).

La lógica difusa ha cobrado una gran importancia por la variedad de sus aplicaciones, las cuales van desde el control de complejos procesos industriales, hasta el diseño de dispositivos artificiales de deducción automática, pasando por la construcción de artefactos eléctricos de uso domésticos y de entretenimiento, así como también de sistemas de diagnóstico (Morales-luna, 2002).

Básicamente, cualquier problema del mundo puede resolverse, si se obteniendo un conjunto de variables de entrada (espacio de entrada) y si se obtiene un valor adecuado de variables de salida (espacio de salida). La lógica difusa permite establecer este mapeo de una forma adecuada, entendiendo a criterios de significado y no de precisión (González Morcillo, 2011).

### **2.2.6. Aplicaciones Generales de la Lógica Difusa.**

La lógica difusa aplica lógica multivariada a la teoría de conjuntos, estableciendo la posibilidad de que los elementos pudieran tener diferentes grados de pertenencia a un conjunto difuso. La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales, y cuando se manejan definiciones y conocimientos no estrictamente definidos (Beleño, Berrio, Pardo, & Oscar, 2013).

En cambio, no es una buena idea usarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución (Gonz, 2018).

A continuación se citan algunos ejemplos de su aplicación (Gonz, 2018) :

- Sistema de control de acondicionamiento de aire;
- Sistema de foco automático en cámaras fotográficas;
- Electrodomésticos familiares (frigos, lavadoras, ...etc);

- Optimización de sistemas de control industrial;
- Sistemas de escritura;
- Mejoramiento en la eficiencia del uso de combustible en motores;
- Sistemas expertos de conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano);
- Tecnología informática;
- Base de datos difusas: almacenamiento y consulta información imprecisa;
- Sistemas de control que no dependen de un SI/NO.

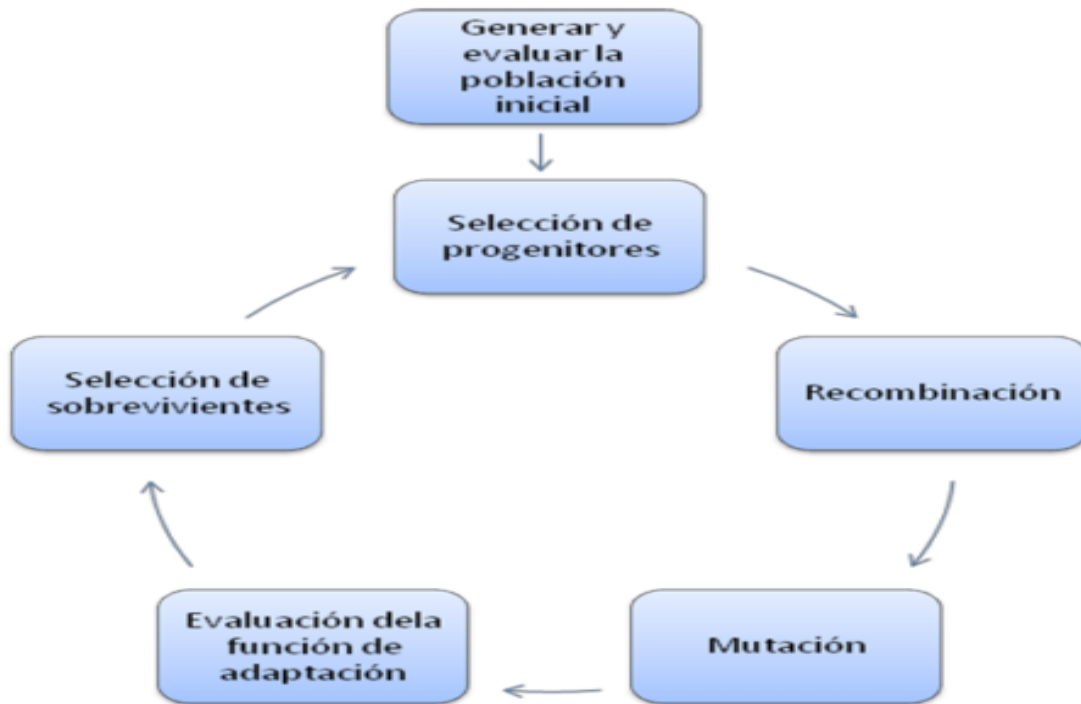
### 2.2.7. Computación Evolutiva.

La computación evolutiva es una rama de la computación y la inteligencia artificial que comprende métodos de búsqueda y aprendizaje automatizado inspirados en los mecanismos de la evolución natural (Ochoa, 2003). La computación evolutiva está inspirado en los mecanismos de evolución biológicos propuestos por Darwin, Medel y Lamark (Moya, 2013). Por tal razón se trata de computación inspirada en el proceso de evolución natural (Pérez Moreno, Vega Moreno, & Melian Batista, 2014). Es suficiente decir que los algoritmos evaluativos emulan a la evaluación natural y comprenden los siguientes parámetros (Ochoa, 2003):

- Una representación o codificación de las soluciones potenciales al problema bajo estudios;
- Una población (conjunto de individuos) de estas soluciones potenciales.
- Mecanismos para generar nuevos individuos o soluciones potenciales al problema estudiado, a partir de los miembros de la población actual (los denominados operadores de mutación y recombinación);
- Una función de desempeño o evaluación que determina la calidad de los individuos en la población en su capacidad de resolver el problema bajo estudio;
- Un método de selección que otorgue mayores oportunidades de sobrevivir a las buenas soluciones.

La **Figura 8**, muestra el esquema general de un algoritmo evolutivo, en donde se refleja el análisis de una población de “X” individuos, es inicializada y

sujetada a evoluciones simulada de una generación a la siguiente a través de la aplicación sucesiva de los operadores de selección de progenitores, recombinación, mutación, evaluación de la función de desempeño y selección de sobrevivientes (Ochoa, 2003).



*Figura 8. Esquema general de un algoritmo evolutivo (Ochoa, 2003).*

## 2.2.8. Redes Neuronales Artificiales.

En este apartado se analizan las RNA con mayor énfasis, ya que es la herramienta que se utiliza para la obtención del objetivo planteado en esta investigación. Esta selección obedece a las características propias de las RNA que resultan excelentes clasificadores con gran empleabilidad en el reconocimiento de patrones, que esencialmente es en lo que está basado el trabajo a realizar por la red eléctrica inteligente, brindando con ello gran robustez en el aprendizaje de nuevos escenarios a partir de su posibilidad de generalización en el aprendizaje. Por esta razón, se tratará con mayor amplitud lo concerniente a las RNA, y no se profundizó en las anteriores herramientas mencionadas (lógica difusa y computación evolutiva).

En las bibliografías revisadas, se ha encontrado gran utilización de las RNA, para la obtención de sistemas eficientes energéticamente que cumpla con

los requerimientos necesarios y parámetros que conlleven a la obtención de sistemas que brinden confort, seguridad y eficiencia. Daza, (2000), y Armas & Montelior, (2010), en sus artículos científicos hacen mención al desarrollo tecnológico con la finalidad de encontrar solución a problemas complejos, tomando como base unos sistemas de computación inspirados en el comportamiento del cerebro humano, con cierta “inteligencia”. El diseño y construcción de máquinas que contengan cierta inteligencia, es el principal objetivo de los científicos a lo largo de la historia; sin embargo, en la actualidad se cuenta con herramientas y lenguajes de programación diseñados para la creación de máquinas inteligentes que ayuden con la optimización de energía en cualquier edificación o red eléctrica. Por tanto, las RNA son modelos que tratan de reproducir el comportamiento del cerebro humano, realizando una simplificación de información y averiguando cuales son los elementos con mayor relevancia del sistema, bien porque la cantidad de información disponible sea excesiva o redundante. La elección de un modelo adecuado y una estructura conveniente, es el proceso idóneo para construir una red que pueda realizar determinadas tareas, a fin de obtener un sistema que permita controlar y conocer de forma inteligente la cantidad de recursos que se necesitan para distribuir, almacenar, controlar en determinados campos de aplicación. Como claros ejemplos, están los trabajos expuestos por Villada, Cadavid, & Molina, (2008); Gonçalo & Ribeiro, (2014); y V. Gonzalez, Contreras, & Bunn, (2012), en los cuales se realizan modelos inteligentes utilizando RNA, con la finalidad de predecir el costo de energía eléctrica en diferentes localidades a nivel mundial (Colombia, Mercado Ibérico de la Electricidad “MIBEL” y Gran Bretaña); dejando como conclusión, *“que los modelos basado en RNA es el menos complicado a la hora de su implementación, mostrando un excelente desempeño en todos los casos tratados en el pronóstico del costo de la energía eléctrica en cualquier localidad a nivel mundial”*. Otro claro ejemplo es el diagnóstico de fallos utilizando herramientas inteligentes ya que se ha convertido en uno de los principales temas a considerar por los investigadores; como es el caso de Barrero, Fernández, & Llanes, (2014), que proponen la configuración de los patrones de una arquitectura de RNA con RBF para tareas de diagnóstico de fallos, luego de establecer un orden lógico para la selección de los mismos. Los resultados obtenidos en este artículo demuestran que la arquitectura de las RNA con RBF,

*“siguen siendo una buena herramienta para realizar tareas de diagnósticos de fallos”*. Para lograr mantener esta jerarquía se deben realizar un adecuado entrenamiento y una correcta selección de los datos, para así obtener una excelente sensibilidad y robustez del sistema. Esto deja muy en claro que la utilización de la IA e IC con sus diferentes herramientas, dan garantía a la obtención de los resultados esperados en diferentes medios de aplicación, tal como se lo aprecia en el **Punto 2.2.1**.

## **2.2.9. Principales Características de las Redes Neuronales Artificiales.**

Estas características están direccionadas en el funcionamiento de las RNA, y fueron tomadas del trabajo perteneciente a Jha, (2007):

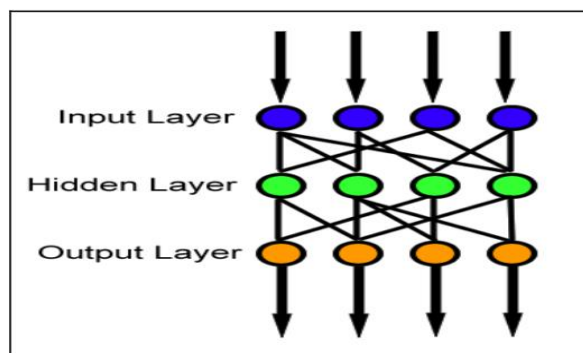
- Las RNA exhiben capacidades de mapeo, es decir, pueden mapear patrones de entrada a sus patrones de salida asociados;
- Las RNA aprenden con el ejemplo. Por lo tanto, las arquitecturas de RNA se pueden “entrenar” con ejemplos conocidos de un problema antes de que se prueben para su capacidad de “inferencia” en instancias desconocidas del problema. Por lo tanto, pueden identificar nuevos objetos que antes no estaban entrenados;
- Las RNA poseen la capacidad de generalizar. Por lo tanto, pueden predecir nuevos resultados de tendencias pasadas;
- Las RNA son sistemas robustos y tolerantes a fallas. Por lo tanto, pueden recordar patrones completos de patrones incompletos, parciales o ruidosos;
- Las RNA pueden procesar información en paralelo, a alta velocidad y de forma distribuida.

Las características antes mencionadas son fundamentales para entender el comportamiento de las RNA, teniendo en cuenta que esto involucra muchos procesos complejos que ayudan con la obtención de estas características. Por tal razón, en el siguiente apartado se presentan las arquitecturas de RNA, con la finalidad de definir el modelo que se aplicará en esta investigación.

## 2.2.10. Definición de Arquitectura en Redes Neuronales Artificiales.

Una RNA se define como un sistema de procesamiento de datos que consiste en una gran cantidad de elementos simples de procesamiento altamente interconectados (neuronas artificiales) en una arquitectura inspirada en la estructura de la corteza cerebral del cerebro. Hay varios tipos de arquitectura de RNA. Sin embargo los dos más utilizados son alimentación de las redes hacia adelante (*feed-forward networks*), y redes de conexiones con retroalimentación (*recurrent networks o feedback networks*) (Jha, 2007).

- **Alimentación de las Redes Hacia Adelante (*Feed-Forward Networks*).**- Este es el primero y más simple tipo de RNA. En estas redes, la información se mueve en una sola dirección, tal como se lo aprecia en la **Figura 9**. Por tanto, la información se mueve hacia adelante desde los nodos de entrada (*input layer*), a través de los nodos ocultos (*hidden layer*) y hacia los nodos de salida (*output layer*). No hay ciclos o bucles en la red (repetición de proceso). Por otra parte, los ejemplos de RNA de avance son el SLP, MLP y RBF (Sibanda & Pretorius, 2012).

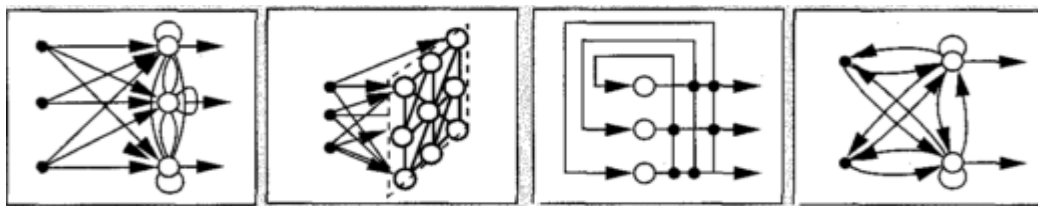


**Figura 9. Representación de una RNA con alimentación hacia adelante (Sibanda & Pretorius, 2012).**

- **Redes de Conexiones con Retroalimentación (*Recurrent Networks o Feedback Networks*).**- A diferencia de las redes con alimentación hacia adelante, estas redes están conformadas por un modelo de flujo de datos bidireccionales. Por tanto, mientras que una red de retroalimentación

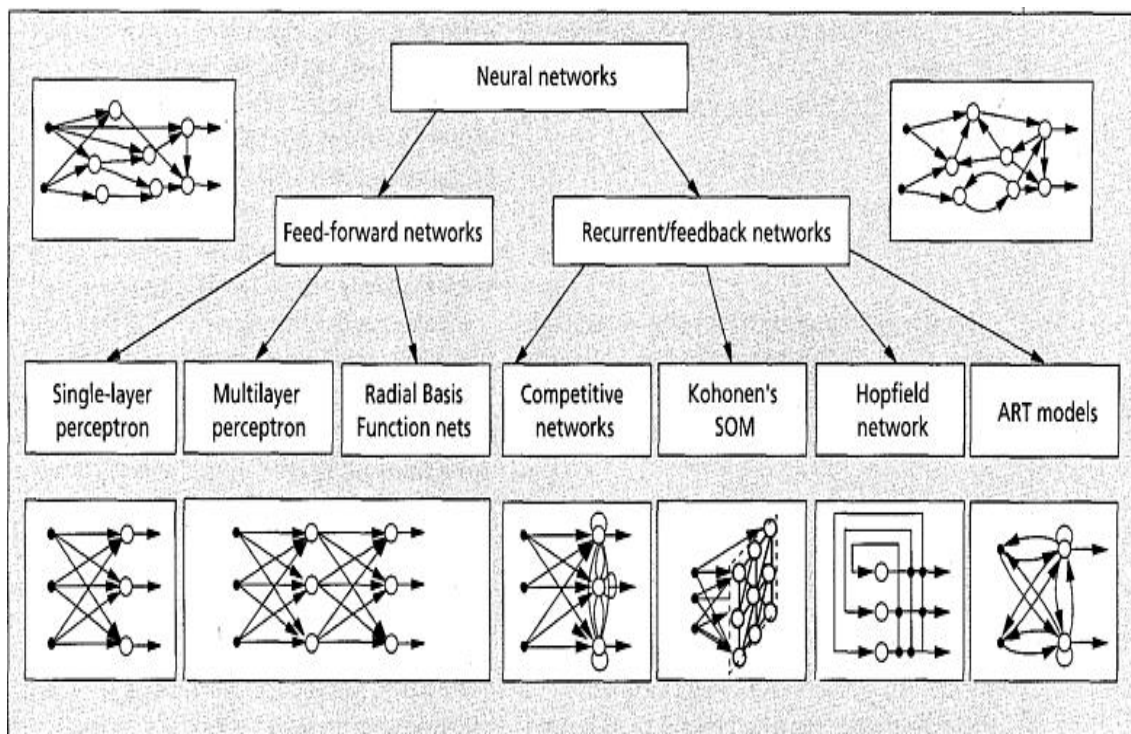
propaga los datos linealmente desde la entrada a la salida de la RNA, también propaga los datos desde etapas de procesamiento posteriores a etapas más tempranas (Sibanda & Pretorius, 2012).

La recurrencia se define como el proceso de una neurona que se influncia a si misma por cualquier medio o por cualquier conexión. Las redes recurrentes no siempre tienen neuronas de entrada o salida explícitamente definidas (Titterington, 2010). La **Figura 10**, es un claro ejemplo de lo antes mencionado.



**Figura 10. Representación de una RNA con retroalimentación (Jain, Mao, & Mohiunffin, 1996).**

La **Figura 11**, que se muestra a continuación representa el resumen de arquitecturas de RNA, con sus respectivas representaciones graficas pertenecientes a cada una de ellas.



**Figura 11. Taxonomía de arquitectura de RNA (Jain et al., 1996).**

## 2.3. Resumen Bibliográfico.

En este apartado se muestra un resumen de aportaciones bibliográficas, el cual se caracteriza por estar direccionado en el tema de influencia, metodología, aportes y comentario crítico, obteniendo una visión de las aportaciones que tienen cada una de las bibliografías en esta investigación.

Respetar el derecho de autor ha sido y será factor de gran importancia en la ejecución de cualquier investigación, por tal razón en este caso se ha respetado cada una de las informaciones que se recopilaron de las bibliografías presentes en la **Tabla 2**.

**Tabla 2. Resumen Bibliográfico.**

Referencia	Tema de influencia	Metodología	Aporte	Comentario Crítico
Andrés et al., 2011; Etsi, 2010; T. García et al., 2011; González López Directores & Eloy-García Carrasco Manuel García Plaza, 2012; Martínez Ochoa, 2012; Peralta Sevilla & Amaya Fernández, 2013; González López, 2012; Verschueren et al., 2010; Energía y Sociedad, 2010; Fedit & Electronica - Tecnologías de la información y telecomunicaciones, 2011; Fossati, 2011; Miret, 2015; Nordman, 2009; Zima et al., 2005; Mohd et al., 2008; Hornby et al., 2008; Secretaría de Energía, 2016	Aportaciones de las Redes electricas Inteligentes y sus avances tecnológicos.	Análisis de los impactos sociales, ambientales y culturales que las redes eléctricas proporcionan con su implementación.	El contenido textual de gran aporte para la correcta interpretación y entendimiento de las redes eléctricas inteligentes.	Con el estudio de estos trabajos se comprende cómo van evolucionando los sistemas eléctricos en la actualidad, logrando incorporar la inteligencia artificial para una gestión energética eficiente.

<p>Elena &amp; Medina, 2012; Restrepo et al., 2014; Akira et al., 2012</p>	<p>Generación distribuida y requerimientos de gran importancia para la inserción de este tipo de generación en la red eléctrica nacional.</p>	<p>Búsqueda de soluciones eficientes para monitorizar, controlar y gestionar la energía que se inserta a la red eléctrica nacional por parte de los GD,</p>	<p>Modelo referencial con el cual se pueden desarrollar diferentes contextos en relación a las diversas soluciones que se pueden aplicar en los GD.</p>	<p>Al tomar en cuenta estos trabajos, se puede comprender como actúan los GD, en conjunto con las diferentes tecnologías que facilitan su control.</p>
<p>Galán Asencio &amp; Martínez Bowen, 2010; Daza, 2000; Armas &amp; Montelíer, 2010; Gonçalo &amp; Ribeiro, 2014; V. Gonzalez et al., 2012; Villada et al., 2008; Barrero et al., 2014; Iglesias, 2010; Lustosa, 2004; Jim &amp; Guti, 2000; Venayagamoorthy, 2009; González Morcillo, 2011; Morales-luna, 2002; Ramirez et al., 2005; Beleño et al., 2013; Gonz, 2018; Moya, 2013; Ochoa, 2003; Pérez Moreno et al., 2014; Matich, 2001; Salas, 2004; Jha, 2007; Tablada &amp; Torres, 2009; Sibanda &amp; Pretorius, 2012; Titterington, 2010; Jain et al., 1996</p>	<p>Evaluación de las técnicas y herramientas que brinda la inteligencia artificial y computacional, para la obtención de una red eléctrica inteligente</p>	<p>Caracterización de las diferentes técnicas y herramientas que brindan la inteligencia artificial y computacional para la obtención de un sistema inteligente.</p>	<p>El contenido textual perteneciente a cada una de estas bibliografías permite comprender las diversas técnicas y herramientas inmersas en la inteligencia artificial y computacional, para escoger la técnica y herramienta que utilizará en el desarrollo de esta investigación.</p>	<p>La revisión de estas bibliografías es de suma importancia para el desarrollo del marco teórico y correcta interpretación de la estructura de esta investigación.</p>

<p>(D. J. García, 2007; Víctor &amp; Buitrago, 2012)</p>	<p>Redes Neuronales Artificiales con Función en Base Radial</p>	<p>Implementación de Red Neuronal Artificial con una arquitectura de Función en Base Radial, para detección de fallos en sistemas eléctricos</p>	<p>Estos trabajos se los utiliza para direccionar esta investigación a una metodología que permita la correcta ejecución y cumplimiento de los objetivos planteados.</p>	<p>La gran utilidad de estos trabajos fue de gran relevancia para comprender como se comportan las Redes Neuronales con Función en Base Radial</p>
--	---	--	--	--

## **3. Metodología.**

---

En este capítulo se analiza la arquitectura de RNA con RBF, con el fin de conformar el sistema inteligente que permita una correcta gestión energética en el edificio N° 3 de docentes de la UTM. Esta arquitectura tendrá como entradas los vectores que se formarán con los parámetros eléctricos correspondientes a los escenarios de trabajo, tales como el transformador, sistema de almacenamiento, mini-central fotovoltaicos y carga en general. Los parámetros eléctricos que formarán parte de los vectores de entradas de la RNA, son analizados para determinar cuáles son los de mayor influencia, y de esta forma, trabajar con parámetros que brinden seguridad, y que sean capaces de cumplir con los requerimientos necesarios que ayuden con la obtención de los objetivos planteados en esta investigación.

Cabe recalcar que la información utilizada en este capítulo es un paralelo de la información utilizada en los trabajos realizados por D. J. García, (2007) y Víctor & Buitrago, (2012), los que en esos casos realizan el análisis direccionado a la detección de fallos en líneas de transmisión. En este caso concreto de esta investigación, se utiliza esta información con la finalidad de encontrar la base para el cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo de investigación. Por tal razón, se describen a continuación las características que debe tener la RNA con RBF, y el comportamiento de la misma y cómo se deben seleccionar los parámetros que conformarán los vectores de entradas y las características que deben tener los resultados esperados.

### **3.1. Técnicas Basadas en el Análisis de Propagación.**

Estas técnicas tienen como fin estudiar cada uno de los efectos que se presentan, en nuestro caso; evaluar el Fp, las energías consumidas de la red, energía consumida de la mini-central fotovoltaica y energía del sistema de almacenamiento, diseñando mecanismos de tolerancia para obtener una salida oportuna en la toma de decisión para la conexión de la red.

El análisis de propagación de características de patrones se puede determinar de manera apropiada utilizando procedimientos matriciales. Por lo tanto, la propagación se puede observar, como un vínculo binario entre las características de los escenarios y sus consecuencias, y para cada elemento o conjunto de elementos pertenecientes al sistema.

Matriz de propagación de fallos: Dada una relación binaria  $M, M: F \times \mathcal{E} \rightarrow \{0,1\}$  del conjunto de escenarios presentes en un elemento " $f_c$ "  $\in$  " $F$ " y el conjunto de sus efectos " $e_c$ "  $\in$  " $\mathcal{E}$ ". Por lo tanto, la matriz de propagación de casos se obtiene de la siguiente forma:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } f_{cj} = 1 \Rightarrow e_{ci} = 1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (3.1)$$

Utilizando la matriz de propagación de cada caso " $M$ ", la propagación de los efectos de los patrones característicos en el  $i$ -ésimo elemento se puede expresar como:

$$e_{ci} \leftarrow M_i^j \otimes f_{ci} \quad (3.2)$$

Donde el operador booleano " $\otimes$ " realiza la siguiente operación:

$$e_{ci} \leftarrow (m_{i1} \wedge f_{ci}) \vee \dots \vee (m_{in} \wedge f_{cn}) \quad (3.3)$$

Cuando los efectos se propagan desde otros componentes se obtiene en el nivel  $i$ -ésimo:

$$e_{ci} \leftarrow M_i^f \otimes \begin{bmatrix} f_{ci} \\ e_{ci(i-1)} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

El efecto final de una determinada caracterización del escenario en el análisis se obtiene mediante la interconexión de los efectos en los elementos del operador de composición " $\otimes$ ". La valoración de la severidad del efecto final de cada uno de ellos permitirá reconocer aquellos que deberán ser localizados, separados y tratados mediante las metodologías de tolerancia.

## 3.2. Detección de Escenarios Basados en Modelos.

El inconveniente que se presenta en la detección de los escenarios basado en modelos consiste en una secuencia de entradas “ $U$ ” (vector de entrada) y salidas “ $Y$ ” obtenidas de los sensores incorporados en el proceso a evaluar, monitorizar y confirmar la consistencia con el comportamiento modelado:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= g(x(t), u(t), \theta) \\ y(t) &= h(x(t), u(t), \theta)\end{aligned}\tag{3.5}$$

Donde  $x \in \mathcal{R}^{nx}$ ,  $u \in \mathcal{R}^{nu}$ ,  $y \in \mathcal{R}^{ny}$  son los vectores de estado, entrada y salida de dimensión “ $nx$ ”, “ $nu$ ” y “ $ny$ ”, respectivamente, mientras que “ $g$ ” y “ $h$ ” son las funciones de espacio de estado y medida respectivamente y “ $\theta$ ” es el vector de parámetros de dimensión “ $p$ ”.

La detección de un escenario es el indicativo de la existencia de una condición de conexión y desconexión. En el caso de utilizar modelos cuantitativos, una forma de verificar la consistencia entre el modelo y las medidas de las entradas y salidas es generar, a razón de las mismas ( $u$ ,  $y$ ) y del modelo una aproximación de lo que se puede obtener en la salida  $y$ . La solidez que se presenta entre el sistema y el modelado se evalúa periódicamente, mediante la diferencia de la **expresión 3.6** conocida como residuo, o bien, a inicio de una relación más complicada, que implica tanto entradas “ $u(k)$ ” y salidas “ $y(k)$ ”, así como los parámetros del sistema, denominada relación de redundancia analítica.

$$r(t) = y(t) - \hat{y}(t)\tag{3.6}$$

$$\phi(t) = f(u(t), y(t), \theta)\tag{3.7}$$

Para generar residuos mediante modelos analíticos se presentan dos técnicas, las cuales son:

- Ecuaciones de paridad;
- Observadores.

En la generación de redundancia analítica, se utilizan dos técnicas de gran importancia, como lo son:

- Espacio de paridad;
- Análisis estructural.

En condiciones ideales se consideran que los valores del residuo " $r(t)$ " son los siguientes:

- Cuando no existe condiciones para la conexión, el residuo debe ser siempre cero;
- Cuando existan las condiciones para la conexión del escenario analizado, el residuo tendría que ser diferente que cero.

En condiciones no ideales, con presencia de perturbaciones, ruidos y errores de modelización se considera que los valores de salida del residuo " $r(t)$ " no son nulos, provocando esto problemas en la decisión.

### **3.3. Aislamiento de escenarios para la conexión y desconexión.**

A partir del conjunto de residuos se determina la matriz de reconocimiento de escenario.

La matriz de reconocimiento de escenario teórico contiene de forma codificada la dependencia de un determinado escenario (columna de la matriz) con su respectivo residuo (fila de matriz) (D. J. García, 2007).

Los escenarios en este sistema se componen de los siguientes:

- Mini-central fotovoltaica;
- Almacenadores de energía (baterías);
- Transformador de 75 kVA (alimentación de la red hacia la carga);
- Carga en general.

La estructura de la matriz de reconocimiento de escenario, esta compuestas por filas y columnas como antes se mencionó. Los elementos que la conforman, dependerán de los escenarios que se presenten en el sistema, ya

que cuando se presenta un elemento en la matriz y es igual a “1”, quiere decir que el reconocimiento de escenario de la columna “ $j$ ” influye en el residuo de la fila “ $i$ ”, en caso que no se presente esta situación el valor será “0”, considerando que estamos en presencia de un reconocimiento de escenario simple. En el caso de que se reconozcan varios escenarios, estaremos presenciando un reconocimiento de escenario múltiple, dejando como resultado, una matriz de reconocimiento de escenario teórica, con mayor cantidad de columnas, ya que este aumenta por las combinaciones de escenarios que se presentan en ese instante.

Los residuos “ $r_i(k)$ ” estimados serán evaluados conforme a su umbral  $\tau_i$ . Los resultados brindan un conjunto de reconocimiento de escenario que se observa en el sistema:

$$s(K) = [s_1(k), \dots, s_n(k)] \quad (3.8)$$

Donde

$$s_i(k) = \begin{cases} 1 & \text{si } r_i(k) < \tau_i \\ 0 & \text{si } r_i(k) \geq \tau_i \end{cases} \quad (3.9)$$

Por lo tanto, el aislamiento (conexión o desconexión) del escenario consiste en encontrar cuál de los reconocimientos de escenario se acerca con mayor fuerza al reconocimiento “ $s_i(k)$ ” que se encuentra experimentalmente.

Calculando la distancia entre el reconocimiento de escenario se obtiene el grado de utilización. Comúnmente, para este cálculo se utilizan la distancia Euclidiana y la distancia de Hamming.

Si se utiliza la distancia de Hamming, se obtiene un vector de distancia para cada reconocimiento de escenario.

$$d(k) = [d_1(k), \dots, d_n(k)] \quad (3.10)$$

Donde

$$d_j(k) = \sum_{i=1}^n (\sum_{ij} \oplus s_i(k)) \quad (3.11)$$

El reconocimiento de escenario teórico que contenga la distancia menor indica cual debe ser el escenario que debe accionarse (conectar o desconectar) en el sistema.

### **3.4. Metodología del Árbol para la Toma de Decisión.**

La metodología del árbol, es un proceso deductivo del análisis en el reconocimiento del escenario. Un árbol para la toma de decisión en el reconocimiento de escenario es un gráfico de los enlaces lógicos que se presentan entre unos sucesos simples o básicos (inicio del árbol), y el suceso (motivo por el cual se toma la decisión de conectar o desconectar) requerido, denominado de cabecera.

Las acciones que conducen a la toma de decisión para la selección de un escenario, y que el mismo actúe según los criterios dados forman los nodos del siguiente nivel del árbol. Siendo conectado el primer nivel con el segundo mediante compuertas lógicas *AND* y *ORD*. De esta forma la información pasa a circular por otros niveles y de la misma forma ser tratado como se designen los niveles inferiores.

La metodología del árbol puede ser utilizada con los siguientes procesos:

- Análisis cualitativo;
- Análisis cuantitativo;
- Diagnóstico.

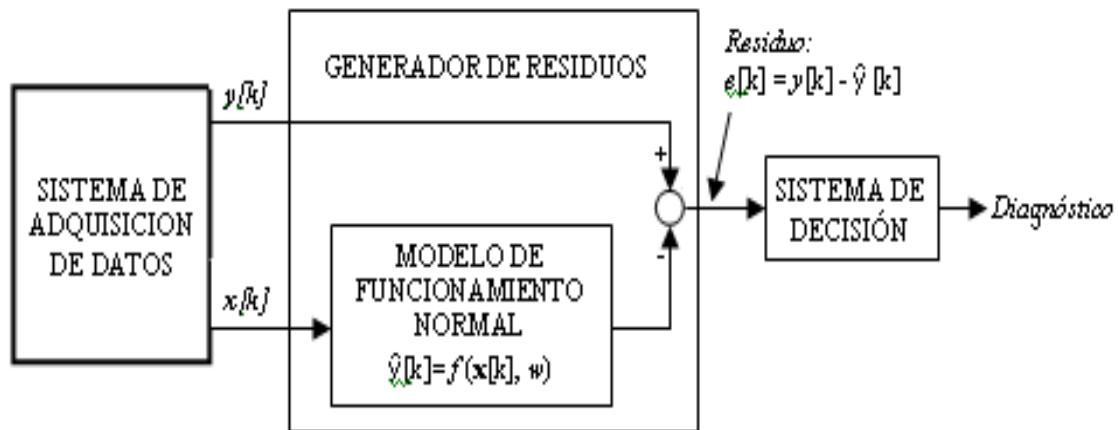
El análisis cualitativo se encarga de calcular la probabilidad con la que se pueden reconocer ciertos escenarios de cabecera, desde los criterios de probabilidad de ocurrencia de eventos básicos.

El análisis cuantitativo está directamente enlazado con el análisis cualitativo, ya que, con los datos que brinda se plantean probabilidades de sucesos básicos o primarios.

El diagnóstico abarca los dos análisis antes mencionados con la finalidad de obtener resultados que brinden soluciones.

### 3.5. Modelo de Operación Normal.

Este modelo está enfocado en la detección y reconocimiento de escenario en uno o varios elementos del sistema y mediante un módulo de toma de decisión elabora una señal de diagnóstico. Para la ejecución de esta tarea se emplea un esquema que sea capaz de reaccionar a varias señales de entrada provenientes de los diferentes elementos que se presentan en el sistema como se muestra en la **Figura 12**.



**Figura 12. Modelo de funcionamiento normal (D. J. García, 2007).**

El bloque de entrada de adquisición de datos está constituido mediante el módulo de medición y registro de las variables que determinan la actividad del sistema mediante diagnóstico. Por lo tanto, los datos que pasan a ser las variables en este sistema de autoconsumo utilizando fuentes de energía renovable son la corriente, el voltaje, el factor de potencia y la impedancia, entre otros. El vector de la variable dependiente " $y[k]$ " también denominado salida del sistema, comprende la desviación concerniente al funcionamiento normal. Por otra parte " $x[k]$ " es el vector que reúne las variables independientes que forman las entradas al modelo de función normal.

El modelo de función normal, puede ser de cualquier tipo en primer instancia, incluyendo los modelos referentes a RNA y es aquel encargado de tratar el vector de variables independientes con el fin de adquirir el vector de variables dependientes deseados " $\hat{y}[k]$ ", que contienen solamente valores de funcionamiento normal, que se comparan con el vector de salida " $y[k]$ ", originario del sistema de adquisición de datos. Por tal razón se le llama a este proceso

generación de residuos, y se lo representa por el vector  $e[k]$  comúnmente denominado residuo.

Generalmente la red que se suele utilizar es de tipo perceptrón multicapas, que es empleada cuando se cuenta con abundante cantidad de datos del sistema, mostrando con claridad el comportamiento de las entradas como de las salidas, con la finalidad de hacerle frente al proceso de entrenamiento de forma confiable y segura, mediante la utilización del modelo de retropropagación de errores.

Cuando se utiliza el perceptrón multicapas para producir el modelo de funcionamiento normal, con la utilización del método de retropropagación de errores, se obtiene como ventaja su capacidad para acercarse a cualquier función.

El módulo de decisión tiene como tarea principal la identificación del escenario para la conexión y desconexión, que consiste en organizar los residuos en un conjunto de patrones reconocibles, que correspondan a las diferentes situaciones o la ubicación del escenario que se debe accionar. De esta forma, el módulo de decisión puede fundamentarse en el principio de exploración o reconocimiento de patrones. La exploración o reconocimiento de patrones, tiene como principio acciones basadas en el análisis de los datos de entrada. Estas entradas se las conoce como vector de medida o vector de característica.

Para el reconocimiento de patrones se emplean varias técnicas entre las cuales se encuentran, las RNA. Estas RNA tienen dos clasificaciones las cuales se mencionaron en el **Punto 2.2**, en donde se destacan la gran utilidad de las RNA ya que sus estructuras de tipo mapas auto-organizados y de tipo RBF, muestran una gran ventaja en la partición del espacio de entrada para ejecutar problemas de clasificación. De manera tal que es muy útil una RNA como clasificador o reconocedor de patrones, con el fin de fraccionar el espacio de patrones de residuos y accionamiento de señales para la toma de decisión.

Este planteamiento muestra un conjunto de procedimiento que se deben seguir para su utilización:

- **Paso 1:** Esquema de representación E/S;

- ❖ Fijar las variables de salida que pueden ser estimadas;
- ❖ Fijar las variables de entradas que son identificadas.
- **Paso 2:** Obtención de los grupos o conjuntos de entrenamiento y prueba;
- ❖ Consideración de situaciones de funcionamiento normal;
- ❖ No se requiere conocimiento alguno sobre el estado de anomalías que se presenten en los elementos.
- **Paso 3:** Aprendizaje;
- ❖ Ajustes de estructuras y parámetros en funcionamiento normal;
- ❖ Especificación estadística de los residuos en condición de funcionamiento normal.
- **Paso 4:** Validación;
- ❖ La validación del sistema está basado en condiciones de funcionamiento normal y anómalo para evaluar su sensibilidad.

### 3.6. Redes Neuronales Artificiales con Función en Base Radial.

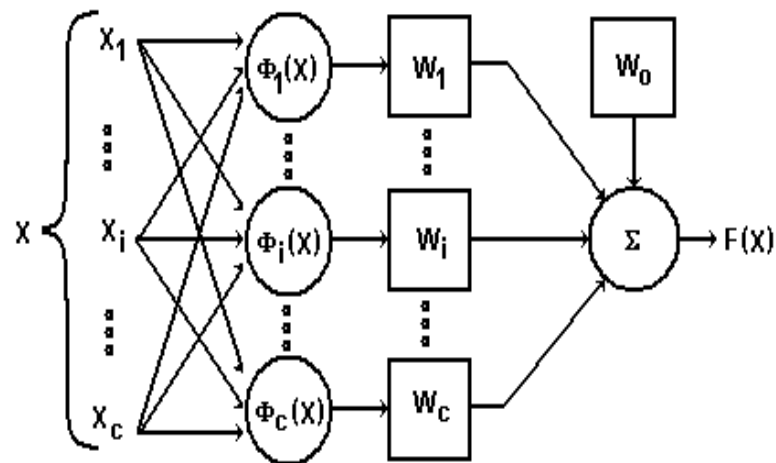
En este apartado, se analiza las RNA con RBF, ya que son las más utilizadas en líneas eléctricas y sistemas eléctricos de distribución de acuerdo a la revisión del estado del arte en esta área de conocimiento. Esto responde precisamente a las características de trabajo de dicha RNA, en la cual existe una topología estructurada de forma sencilla que garantiza un tiempo de aprendizaje o de entrenamiento pequeño y una gran flexibilidad para atender los diferentes requerimientos de sistemas eléctricos en general. Por tal razón, se escoge esta topología de RNA con RBF para este trabajo de investigación, por lo cual profundizamos a continuación en las características de la misma con vistas a ejecutar el sistema que se va a implementar en el edificio N° 3 de docentes de la UTM.

### 3.6.1. Metodología de las RNA con RBF.

Las RNA con RBF se han asociado, tradicionalmente, con una arquitectura simple de tres capas, tal y como se lo puede apreciar en la **Figura 13**. Se aprecia la conexión de cada capa con la capa siguiente. La capa oculta está constituida de un grupo de nodos, que se conocen por poseer asociadas funciones de activación de tipo radial, denominadas RBF. Las funciones reciben en sus entradas el conjunto de patrones definidos.

La arquitectura de RBF se basa en un área específica del espacio de entrada. Por otra parte, las salidas de estas funciones se relacionan con el fin de combinarse, linealmente, mediante ponderaciones para obtener la salida de la RNA con RBF. Esta arquitectura, tiene otra característica importante que se basa en producir una respuesta local, en oposición a la respuesta global típica de la función sigmoide, ya que su salida depende únicamente de la distancia que se presenta entre la entrada y el centro de cada RBF.

La arquitectura RBF presenta una estructura, la cual se aprecia de la siguiente forma:



**Figura 13. Arquitectura de la RNA con RBF (D. J. García, 2007).**

De donde se obtiene la siguiente expresión:

$$\phi_i(x) = \varphi((x - ci)^T \cdot R^{-1}(x - ci)) \quad (3.12)$$

De donde “ $\varphi$ ” es la RBF utilizada,  $\{ci \mid i = 1, 2, \dots, c\}$  es el conjunto de centro de las funciones de RBF y “ $R$ ” es una métrica. Por otra parte, el término

$(x - c_i)^T \cdot R^{-1} (x - c_i)$  es la distancia que surge desde la entrada “x” hasta el centro “c” en la métrica definida por “R”. Sin embargo, se utilizan más tipos de RBF, pero, la función Gaussiana es la más común y utilizada, en combinación con la métrica euclidiana.

La fusión gaussiana con métrica euclidiana, tiene como salida de la red la siguiente expresión:

$$F(x) = \omega_0 + \sum_{i=1}^c \omega_i \cdot \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{r^2}\right) \quad (3.13)$$

Donde “c” es el número de RBF utilizadas,  $\{c_i \mid i = 1, 2, \dots, c\}$  son los pesos sinápticos,  $\|\cdot\|$  expresa la norma euclidiana y “r” es el radio de la RBF.

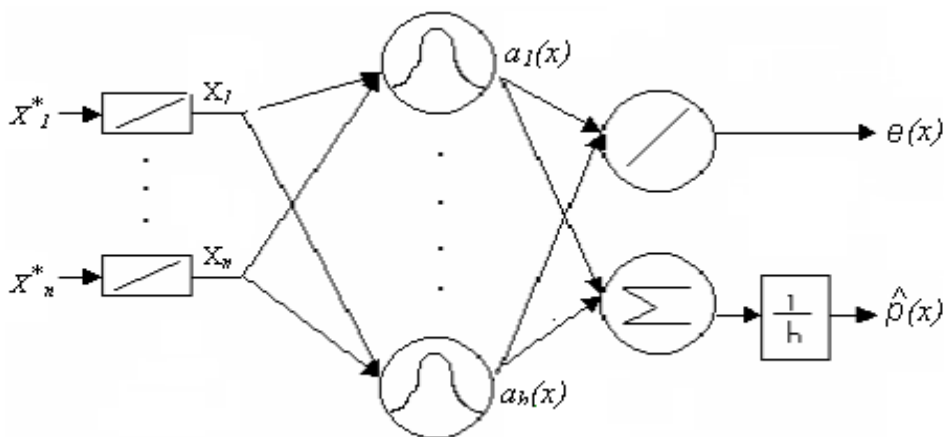
La RNA con RBF es un algoritmo de aprendizaje con proceso incremental y evolutivo. Este proceso se basa en un fundamento matemático denominado selección de subconjunto, que consiste en emplear los modelos que se adquieren de escoger, de un mismo conjunto de elementos aspirantes, varios subconjuntos de elementos.

### 3.7. Diagnóstico de Escenarios Utilizando RNA.

Representado un conjunto de muestras  $S = \{(X[1], y[1]), \dots, (x[N], y[N])\}$  con “x”  $\in$  “ $R^n$ ” e “y”  $\in$  “R”, donde, “ $R^n$ ” representa al conjunto numérico compuestos por valores reales, imaginarios, difusos, fraccionarios, entre otros, que pueden ser variables que simbolicen a un procedimiento en específico, que en otras palabras quiere decir, variables estipuladas a señales de entrada y salida que simbolizan un hecho específico del proceso, “R” es un conjunto numérico que bien puede pertenecer o no al conjunto “ $R^n$ ”, y “ $p(x, y)$ ” representa una estimación de la función probabilidad con el estimador de *Parzen* que simboliza la probabilidad de que la red converja con el par “(x, y)”, esto quiere decir, que si se aplica la entrada x se pueda obtener la salida “ $\hat{y}$ ”, se puede valorar el valor que se obtiene en la salida “ $\hat{y}(x)$ ” en el modelado de una red en funcionamiento normal utilizando la función de regresión generalizada.

$$\hat{y} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot p(x, y) dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} p(x, y) dy} \quad (3.14)$$

Con la **expresión 3.14**, se muestra una relación, que puede ser probable, en las salidas reales y las salidas esperadas mediante la probabilidad que conserva la salida real para que converjan a una salida esperada. Se debe tener en cuenta, que estas variables pueden remplazarse por una función de la otra y el residuo.



**Figura 14. Esquema de RNA con RBF (D. J. García, 2007).**

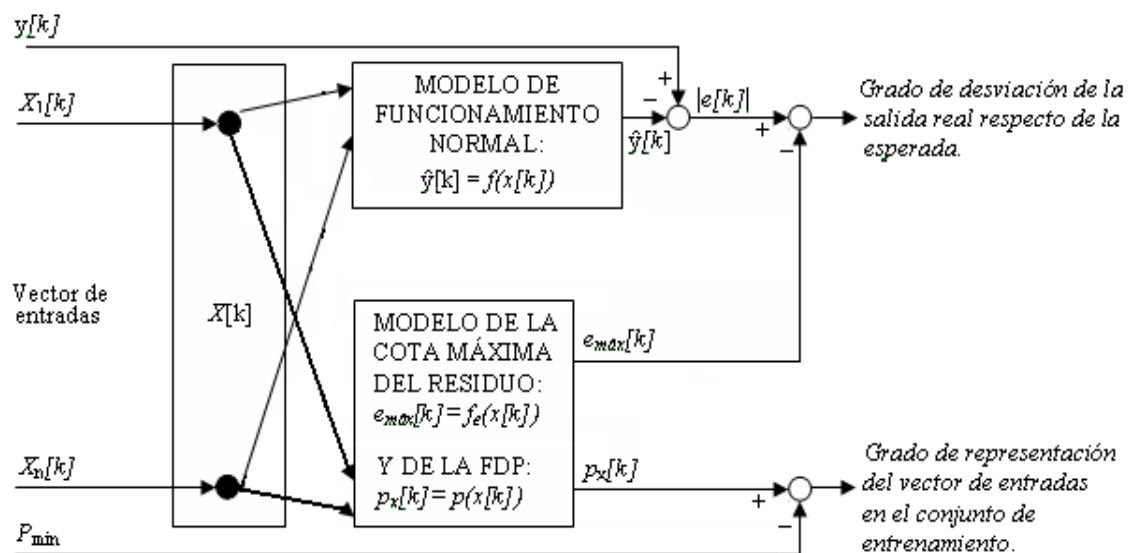
En la **Figura 14**, se encuentra que las entradas de señal se representan por  $X_1^* \dots X_N^*$  que circulan mediante una capa de función lineal, obteniendo es su salida el valor normalizado de entrada. Después de este proceso los valores de señales de entrada pasan por la capa oculta o intermedia las cuales son RBF de tipo gaussiana, teniendo como condiciones en su salida los valores entre “0” y “1”, los cuales se los obtiene con la siguiente expresión.

$$a_i(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma_i)^n} \cdot \exp\left(-\frac{(\bar{x} - x_i)^T (\bar{x} - x_i)}{2\sigma_i^2}\right) \quad (3.15)$$

Los valores que pasan por la capa oculta, pasan a ser la entrada a las neuronas de la capa de salida de la red. En la **Figura 14**, se puede apreciar que la capa de salida de la red está formada por dos elementos, el primero es una neurona con función lineal, que tiene como aporte un valor de residuo que le

pertenece al vector de entrada analizado por la red y el segundo elemento de la capa de salida es un sumador, con el cual se puede obtener en su salida la estimación del valor correspondiente al error total, el cual si se lo multiplica por el valor inverso de la cantidad que se obtiene en la salida de la capa oculta, se obtiene la probabilidad con la que ocurre el residuo que se obtuvo en la primera salida. En otras palabras, la presencia del error es por malas operaciones, ruidos en mediciones, entre otras causas que se presentan en los escenarios de trabajo normal.

Si se une el modelo que se aprecia en la **Figura 14** con el bloque que se aprecia en la **Figura 12**, teniendo en cuenta que esta última figura se modifique, quedando como resultado el modelo que se puede apreciar en la **Figura 15**.



**Figura 15. Detección de escenarios utilizando RNA con RBF (D. J. García, 2007).**

El funcionamiento de cada elemento se lo puede apreciar a continuación. En la **Figura 15**. Se aprecia un esquema, el cual está compuesto por dos características fundamentales, de las cuales, la primera se basa en su capacidad de adaptabilidad, y la segunda, representa la robustez para determinar la magnitud de pertenencia del residuo con el estado del sistema para incorporarlo a la decisión.

El modelo para el **funcionamiento de probabilidad en el vector de entrada** cumple con la estimación de funcionalidad en la probabilidad “ $p(x)$ ”, en base a la distribución del vector de entradas es el conjunto de entrenamiento, para el cual se utiliza una RBF.

Cuando se presentan valores bajos de “ $p(x)$ ”, significa que estamos en presencia de una representación muy pobre con respecto a la situación actual sobre el conjunto de entrenamiento, teniendo como consecuencia que el valor del vector de entrada no representa el proceso, lo que trae consigo, una pobre fiabilidad de la estimación “ $\hat{y}$ ”.

Al definir una cota con valor inferior de extrapolación “ $p_{min}$ ”:

- $p(x) < p_{min}$  → Representación de la situación desconocida (vector de entrada);
- $p(x) > p_{min}$  → Representación de la situación conocida (región de confianza).

El **modelo de la cota máxima de los residuos** verifica si el valor del residuo en la comparación de la salida real y esperada, es menor que el valor de la cota máxima perteneciente a los residuos, quiere decir que la red está dando una respuesta dentro del rango estimado como salida normal. Por otra parte, se presenta lo contrario, entonces se dice que se encuentra fuera de rango, dando como respuesta de la red, una salida anómala. Lo anterior expuesto se lo resume en las siguientes expresiones.

$$e = y - \hat{y} < e_{max} \rightarrow \text{Acción de conexión} \quad (3.16)$$

$$e = y - \hat{y} > e_{max} \rightarrow \text{acción de desconexión} \quad (3.17)$$

También se puede estimar la cota máxima de los residuos, mediante una RNA con RBF, iniciando con el vector de entrada. El valor de la varianza local perteneciente al residuo se la puede estimar en cada unidad radial con la siguiente expresión:

$$S^2_{e,i} = \frac{\sum_{k=1}^N a_i[k] \cdot e^2[k]}{\sum_{k=1}^N a_i[k]} \quad (3.18)$$

Donde:

- $e^2[k]$  ➔ Representa la desviación cuadrática de las neuronas de la capa intermedia de la red;
- $a_i[k]$  ➔ Representa las neuronas de la capa intermedia;
- $S^2_{e_j}$  ➔ Representa la desviación cuadrática de la neurona de la capa intermedia de la red.

Se puede estimar la varianza del residuo mediante la regresión generalizada:

$$S^2_e[k] = \frac{\sum_{i=1}^h a_i[k] \cdot S^2_{e,i}}{\sum_{i=1}^h a_i[k]} \quad (3.19)$$

El valor de la cota máxima de los residuos es el doble de la desviación estándar:

$$e_{\text{máx}}(x[k]) = 2S_e(x[k]) \quad (3.20)$$

Cuando el valor del error es dos veces más que el de la desviación estándar significa, que la determinación del error es no mayor que el de 5%.

El **sistema de decisión** teniendo en cuenta las definiciones antes establecidas, se puede decir que el intervalo de confianza de la salida real del sistema, en base al valor de la salida esperada y el valor de la cota máxima de los residuos ( $\hat{y} \pm e_{\text{max}}$ ) con una seguridad de confianza del 95%. Con lo antes mencionado, se establecen dos reglas básicas para la selección del accionamiento de un escenario dado.

Cuando ( $p(x) > p_{\text{min}}$ ) *región de confianza*.

- “Acción de conexión” ( $y \in \hat{y} \pm e_{\text{max}}$ ) ➔ *Función para conexión*;
- “Acción de desconexión” ( $y \notin \hat{y} \pm e_{\text{max}}$ ) ➔ *Desconexión*.

Cuando ( $p(x) < p_{\text{min}}$ ):

- Nueva condición de conexión;
- Desconexión en un escenario del sistema.

## 4. Estudio de Caso.

---

En este capítulo se presenta todo el proceso que se implementó para la obtención de los resultados, con lo cual se genera la orden para el cumplimiento de la gestión de la red eléctrica inteligente. Para ello, se comenzó analizando el área de trabajo en la cual se va a trabajar, y de la cual se van a obtener los datos que serán analizados con él desarrolló una RNA con RBF, la cual analiza los datos del comportamiento tanto del edificio como de la mini-central fotovoltaica. Este análisis que realiza la RNA con RBF, será aquel que proporcione la decisión correspondiente para que cualquier escenario entre en funcionamiento o viceversa, esto dependerá del comportamiento que tenga la carga en función con la energía que consume de la red y de la mini-central fotovoltaica.

A continuación, se detallarán cada uno de los elementos que conforman parte de esta metodología.

### 4.1. Caracterización del Área de Trabajo.

En este acápite se dan a conocer, los aspectos físicos, técnicos e infraestructurales del área de trabajo, con la finalidad de establecer la realidad que presenta el área de trabajo, así conocer cuáles son las necesidades tecnológicas e infraestructurales que necesita el nuevo sistema inteligente a implementar.

#### 4.1.1. Área de Trabajo.

El área de trabajo se encuentra en los predios de la UTM, en el edificio N° 3 de docentes, en donde, se encuentra un transformador padmounted de 75 kVA (ver **Figura 16**), y además se encuentra la mini-central fotovoltaica conectada a la red de baja tensión. Cabe destacar que es el único medio de aprovechamiento de energía renovable con el que cuenta la institución. En la **Figura 17** y **Figura 18**, se muestra el área de trabajo.



**Figura 16. Transformador padmounted de 75 kVA.**



**Figura 17. Ubicación satelital de los predios de la UTM (X: 560536.45; Y: 9884586.18), se obtuvo de Google Maps.**



**Figura 18.** Ubicación satelital de la Mini-central Fotovoltaica (X: 560682.00; Y: 9884501.12), se obtuvo de Google Maps.

#### 4.1.2. Características de la Mini-central Fotovoltaica.

Esta mini-central cuenta con 18 módulos de silicio (ver la **Figura 19**), de 190 Wp y una captación por módulos de 6,4 m<sup>2</sup>, esto deja una potencia nominal de 3,4 kWp, en condiciones de funcionamiento 3032 kWp (50°).

Para el control y conversión de la potencia generada, esta mini-central cuenta con un inversor SUNNY BOY 3000 SMA de 3,4 kW de potencia (ver **Figura 20**). En la entrada registra una potencia máxima de 3200 W, una tensión máxima de 600 V, una tensión de CA de 350V. En la salida una potencia nominal de CA 2750 W a 230 V, 60 Hz, una potencia aparente CA máxima de 3000VA, Tensión nominal de CA; rango: 220, 230, 240 V; 180 V-260 V (Manuel Saltos Arauz, Intriago Cedeño, Salvatierra Chávez, Vázquez Pérez, & Rodríguez Gámez, 2017).



**Figura 19. Módulos de silicio que conforman la mini-central fotovoltaica.**



**Figura 20. Inversor utilizado en la mini-central fotovoltaica.**

## **4.2. Análisis de los Datos Obtenidos con el Equipo PQ-Box 100 (Analizador de Red).**

Con este equipo se analizaron valores de tensión, corriente, factor de potencia, potencias en general, frecuencia y energías en general. Este análisis, se realizó con los datos que fueron recopilados en un periodo que está comprendido desde el 05 al 24 de octubre 2017, con un intervalo de muestreo de 10 minutos. Este periodo representa un claro ejemplo del comportamiento

que tiene la carga, tanto en días laborales y no laborables. Estos datos, se obtuvieron ubicando el analizador de red en las salientes del transformador y de la mini-central fotovoltaica. Por tanto, a continuación, se detalla los datos que fueron analizados con la finalidad de encontrar el conjunto de valores que conformarán las entradas de la RNA con RBF.

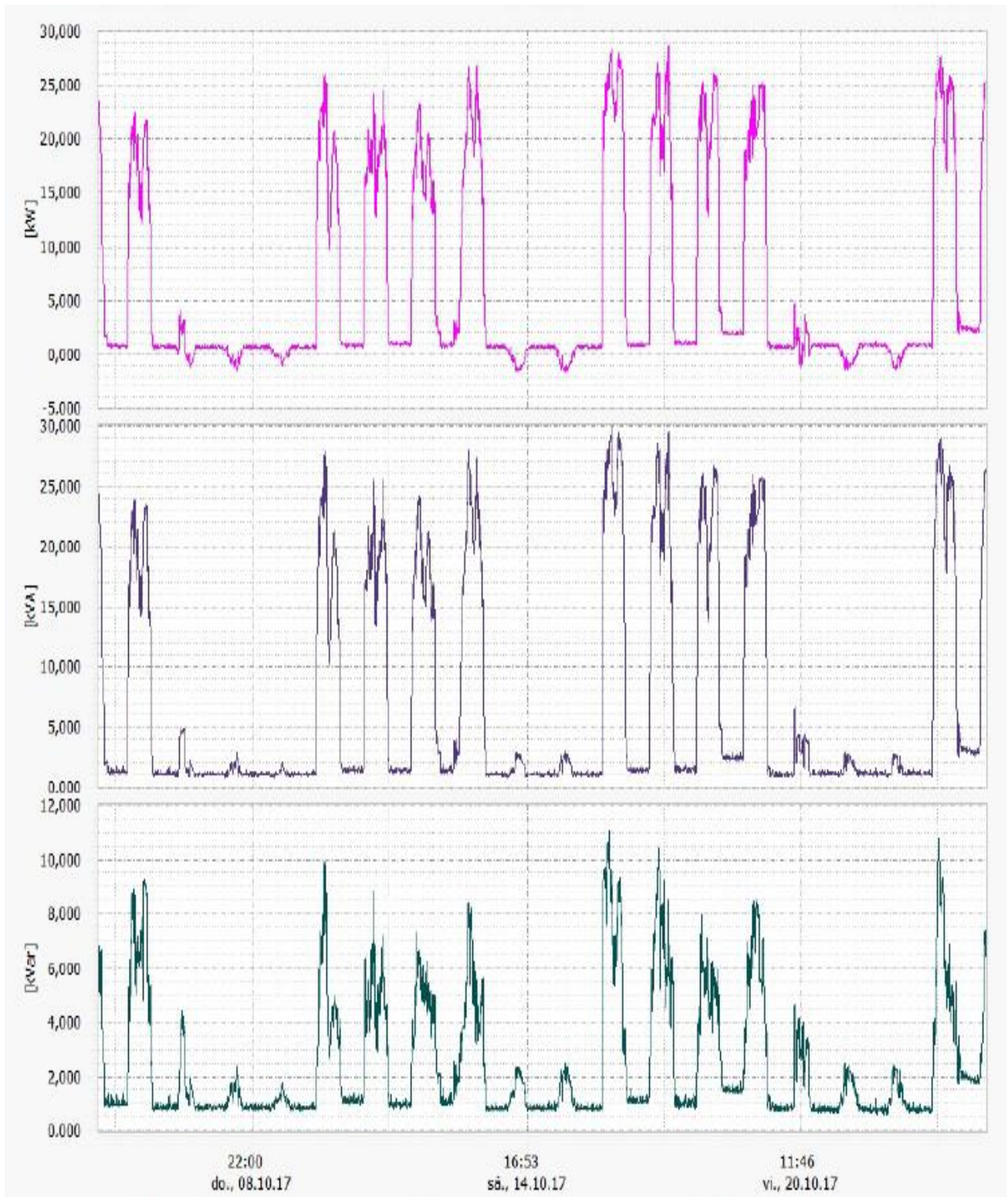
#### 4.2.1. Análisis de Potencia Activa (P), Aparente (S) y Reactiva (Q).

Analizando las potencias P y S, se puede apreciar, que a simple vista el transformador se encuentra sobre dimensionado con respecto a lo requerido por la carga, ya que en este caso el edificio cuenta con un transformador padmounted de 75 kVA, mientras la carga solo llega a ocupar una tercera parte de toda la potencia que el transformador posee, dejando como resultado un desperdicio energético considerable. Lo antes mencionado se lo puede apreciar en la **Figura 21**, en donde también podemos observar cómo se comportan cada una de las potencias, tanto en el día, en la noche, o fines de semana. Por otra parte, en la misma figura se aprecia el comportamiento de la Q, dejando como resultado, que los valores de Q se incrementan por las noches, o cuando disminuyen los valores de P y S.

Para mayor comprensión sobre el comportamiento de P, S y Q, podemos observar en la **Tabla 3**, los valores máximos, mínimos y medios de cada una de ellas, dejando como interpretación, que la variabilidad de sus valores oscilan en rangos bastante dispersos, es claro entender que eso se debe al comportamiento de la carga, ya que no siempre van a pasar conectado todos los equipos a la vez, y peor aún, en su máximo consumo.

**Tabla 3. Valores interpretativos de P, S y Q.**

Detalles de P, S y Q			
	Mín	Media	Máx
<b>P total [kW]</b>	-1,64	6,03	28,75
<b>S total [kVA]</b>	0,82	6,85	29,87
<b>Q total [kVArh]</b>	0,59	2,45	11,04

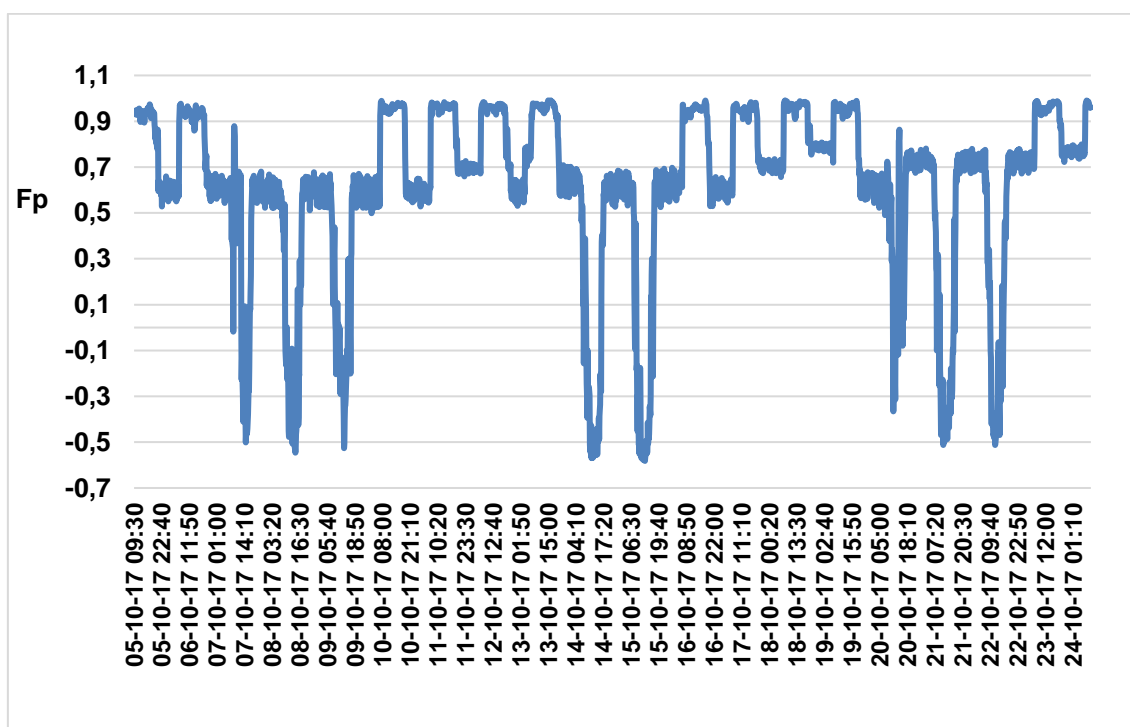


**Figura 21. Comportamiento de potencias en general (WinPQ Mobil).**

## 4.2.2. Análisis del Factor de Potencia (Fp).

Este análisis no se lo realiza con el fin de corregir el Fp, sino, comprender el comportamiento del mismo, ya sean en el día como en la noche. De tal forma la **Figura 22**, es la representación de la toma de datos correspondientes al Fp, en la cual se aprecian valores por debajo de 0,92. Teniendo en cuenta, el comportamiento del Fp presente en la figura antes mencionada, podemos tener una idea de las fuertes penalizaciones que recaerán sobre la UTM por presentar valores de Fp por debajo de 0,92, tal como lo decreta la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2018). Por otra parte, no porque presente valores bajos de Fp significa que será penalizado inmediatamente, para eso hay que analizar el tipo de tarifa que tiene la UTM, y de esta forma poder determinar quién es el responsable de cancelar las penalizaciones que genera la institución. Por otra parte, con los valores que se representan en esta figura se puede acoger como un umbral para la toma de decisión mediante la RNA con RBF.

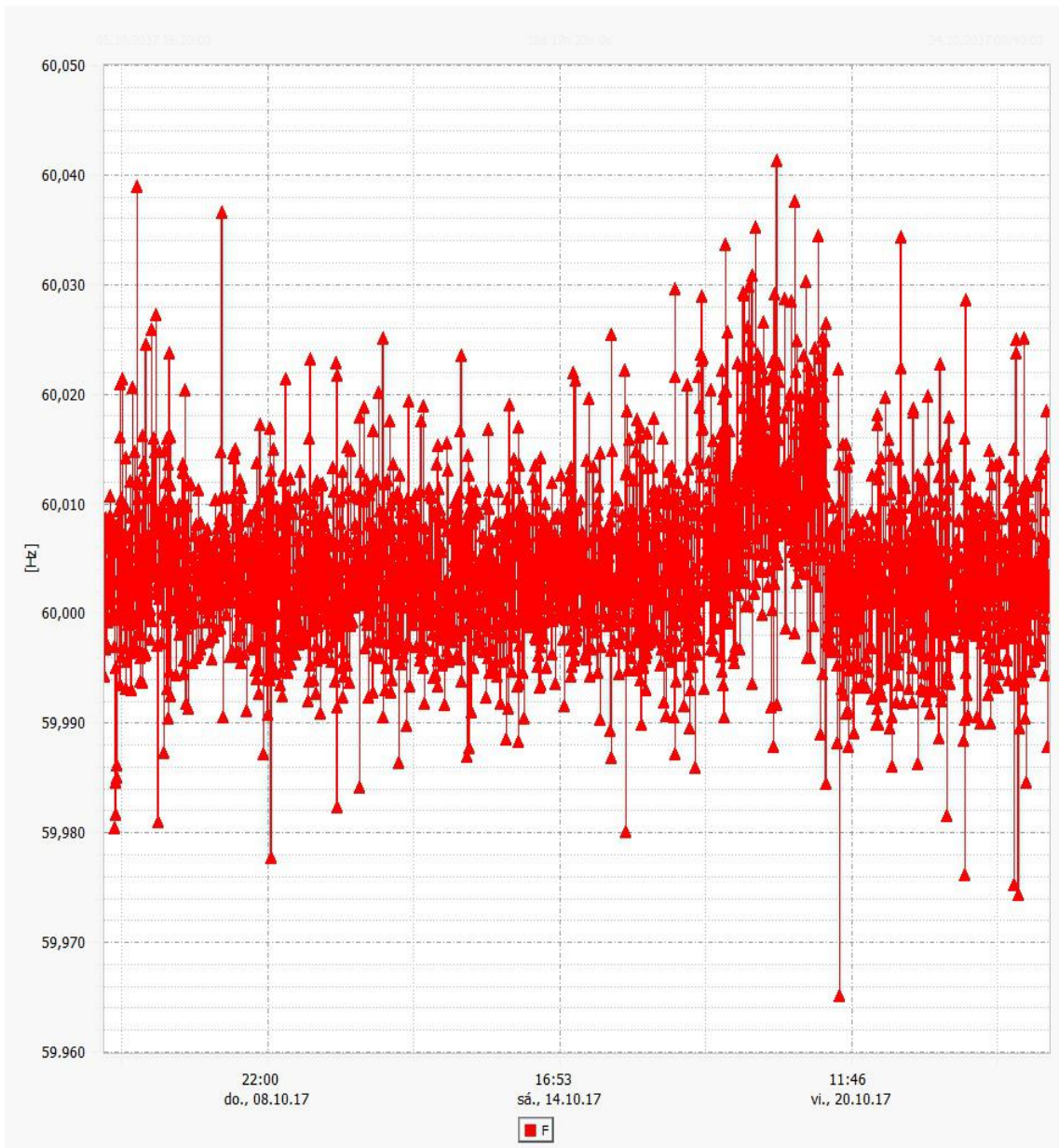
Es claro entender que los valores bajos de Fp, se presentan en su gran mayoría en las noches, ya que, la carga disminuye considerablemente, haciendo que el Fp caiga a valores por debajo del 0,92.



**Figura 22. Diagrama de factor de potencia (WinPQ Mobil).**

### 4.2.3. Análisis de frecuencia (F).

La frecuencia muestra ligeras oscilaciones, por debajo y por encima de 60 Hz, pero no son valores de gran importancia para el estudio a realizar, ya que estos valores son muy pequeños y requieren de un estudio muy exhaustivo, tal como se lo puede apreciar en la **Figura 23**. Por tal razón, no se tomará en cuenta como objetivo de análisis con la RNA con RBF, ya que no resulta relevante esa información para el trabajo de toma de decisión.



**Figura 23. Diagrama de frecuencia (WinPQ Mobil).**

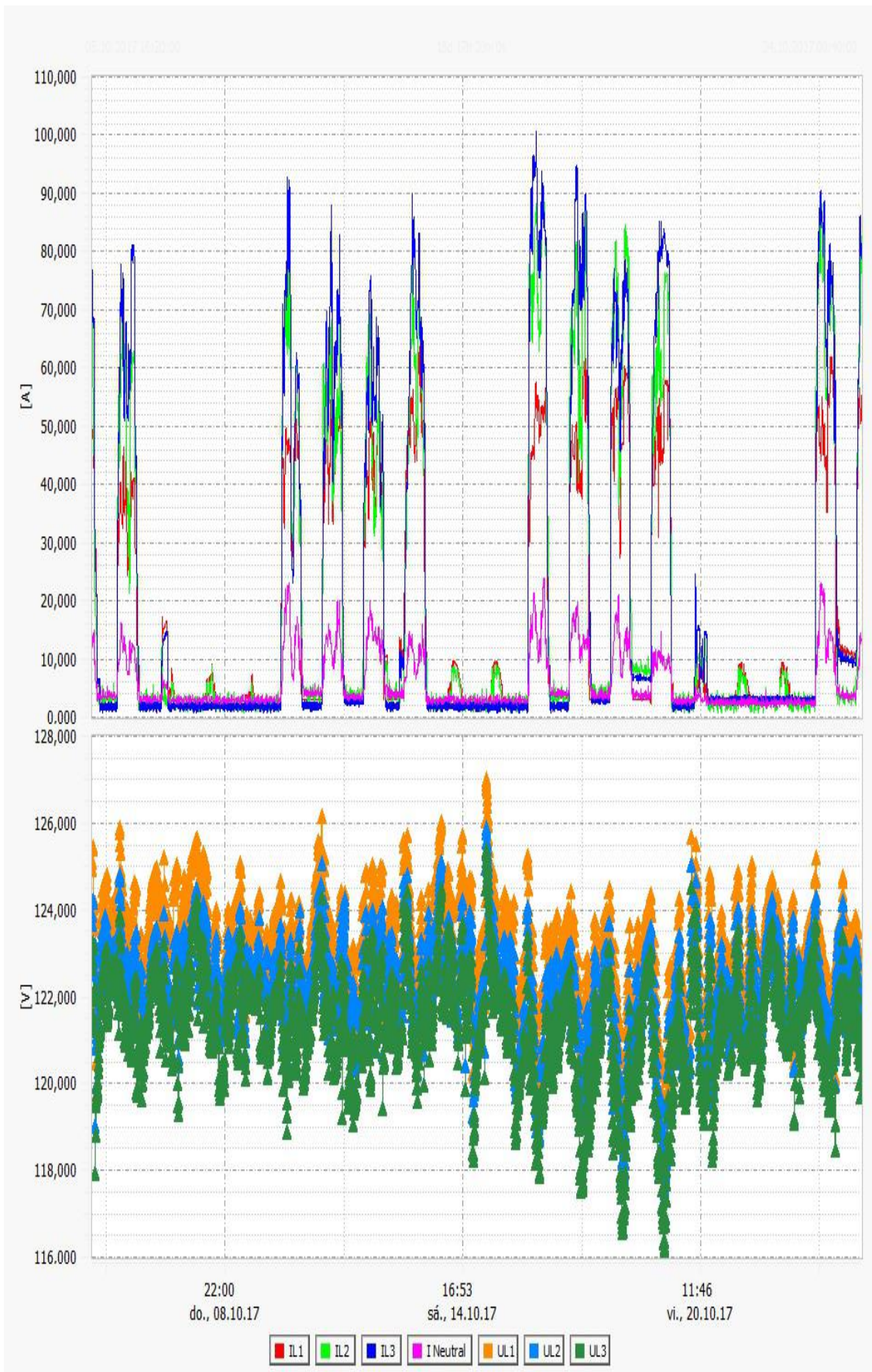
#### 4.2.4. Análisis de Tensión y Corriente.

En la **Figura 24**, se aprecia el comportamiento de la tensión y de la corriente en cada una de las fases, la tensión presenta oscilaciones que tiene valores máximos y mínimos, tal como se muestra en la **Tabla 4**, dejando en claro la variación que existe en la tensión. Por tanto, a pesar de que se presentan variaciones en la tensión, no es un parámetro que tengamos que acoger con mayor fuerza para ubicarlo en el análisis que se va a realizar, con el fin de que se convierta en un umbral para la toma de decisión. Esto se debe, a que al igual que la frecuencia, la tensión, requiere de un análisis muy fuerte para determinar de qué forma se puede ajustar el valor de tensión, hasta llegar a un valor fijo, que es casi imposible obtenerlo, debido a que, las pérdidas de tensión por motivos de circulación por los diferentes conductores, van a ocasionar un sinnúmero de pérdidas de tensión.

Por otra parte, la corriente presenta un comportamiento muy particular, ya que si analizamos la corriente de cada una de las fases con la tensión, se aprecia que este sistema es totalmente desequilibrado. Es decir, cuando se construyó el sistema eléctrico, no se realizó un balance de carga, con la finalidad que las corrientes presentes en cada fase, sean lo más iguales posibles, para que de esta forma exista menos variación en la tensión, y logrando que el transformador trabaje mejor, pues como se conoce, si solo se sobrecarga una fase como se muestra en la **Tabla 4**, el transformador presentará un desgaste en el devanado correspondiente a la fase que se encuentra con mayor carga conectada.

**Tabla 4. Valores interpretativos de tensión y corriente.**

<b>Detalles</b>			
	<b>Mín</b>	<b>Media</b>	<b>Máx</b>
<b>IL1 [A]</b>	2,20	14,30	54,40
<b>IL2 [A]</b>	0,80	16,20	80,30
<b>IL3 [A]</b>	1,00	18,20	92,60
<b>I Neutral [A]</b>	2,20	5,80	23,10
<b>UL1 [V]</b>	119,70	123,00	126,20
<b>UL2 [V]</b>	119,00	122,50	125,10
<b>UL3 [V]</b>	117,90	121,60	124,30



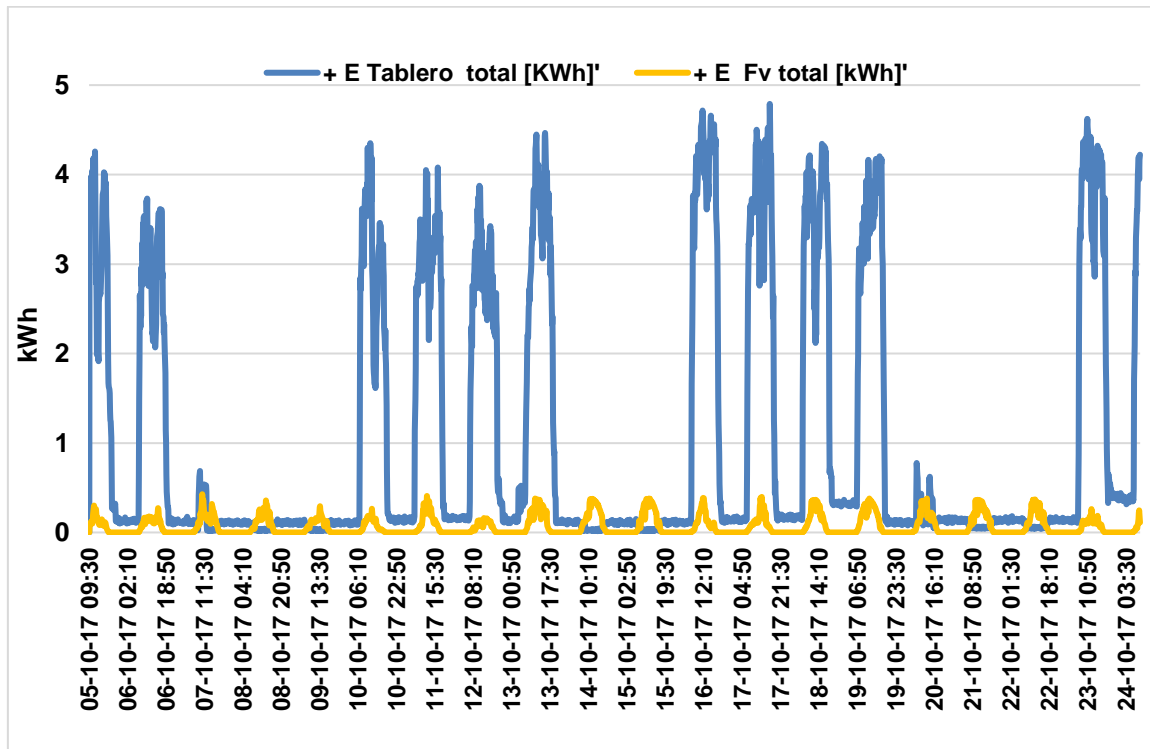
**Figura 24. Diagrama de tensión y corriente (WinPQ Mobil).**

#### 4.2.5. Análisis de la Energía Consumida de la Red y de la Mini-central Fotovoltaica.

El consumo presente en el edificio está derivado a dos fuentes, ya sea de la red y de la mini-central fotovoltaica. Para entender cómo se comporta el consumo energético en esta edificación, se muestra en la **Figura 25**, en donde, se puede observar cual es el consumo en diferentes escenarios, como el día o la noche. Por otra parte, en la **Tabla 5**, se muestran los valores mínimos, medios y máximos de energía que consume el edificio de cada una de estas fuentes, dándonos una idea clara de cuál es el camino que se debe llevar para encontrar los parámetros de decisión, con los que se va entrenar la RNA con RBF.

**Tabla 5. Valores interpretativos del consumo energético en el edificio.**

Detalles			
	Mín	Media	Máx
E. total red [kWh]	0,02	1,02	4,80
E. total Pv [kWh]	0,00	0,07	0,43



**Figura 25. Consumo energético del edificio de docente N° 3.**

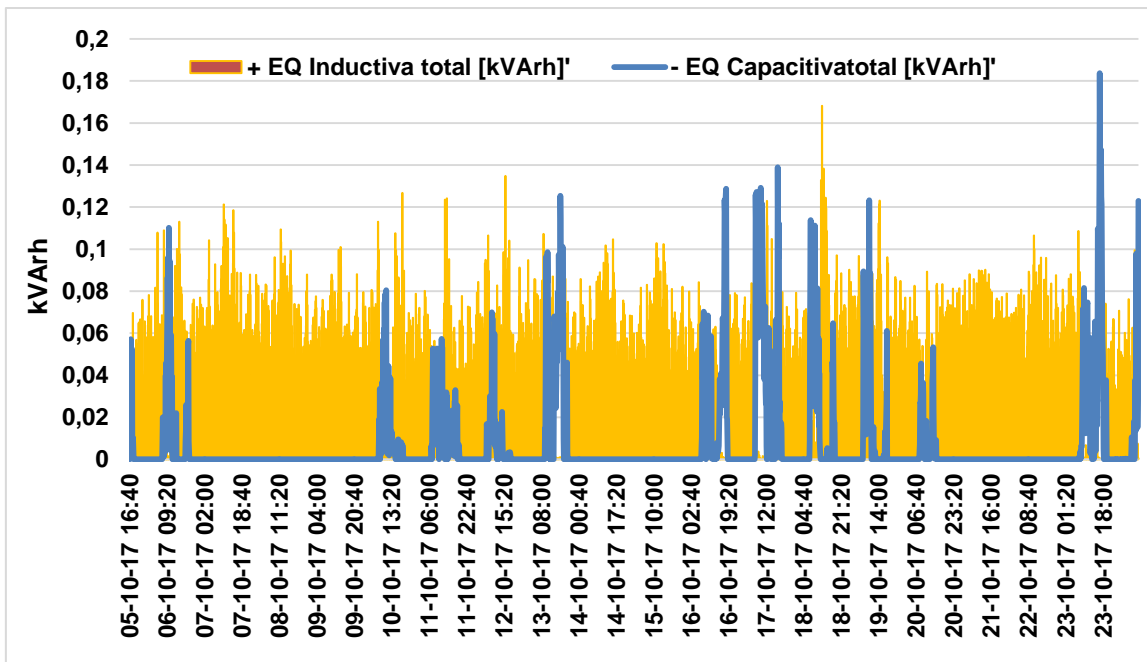
## 4.2.6. Análisis de las Energía Reactiva Capacitiva e Inductiva.

Este análisis es muy importante para tomar decisiones, y con el mismo ejecutar una acción con la que se pueda dimensionar el sistema que se va a implementar. En primera instancia se analizaron las energías reactivas; dejando como resultados, que el consumo de energía reactiva inductiva se presenta tanto en el día como en la noche, teniendo en cuenta que en las noches la carga disminuye considerablemente (tal y como se observa en el **Punto 4.2.1**), y a pesar de eso el consumo de reactivos inductivos se presenta con gran fuerza, esto se lo puede apreciar en la **Figura 26**. Por otra parte, en la misma figura se aprecia la energía reactiva capacitiva, que en este caso pasa hacer la energía reactiva generada, que como se puede apreciar, no alcanza hacer un justificativo como para dejar de tomar en cuenta en este estudio.

Por tanto, en la **Tabla 6**, se muestran los valores mínimos, medios, máximos y el total de energía reactiva inductiva y capacitiva que se presentaron en el transcurso del periodo de análisis, estos valores ayudan a entender cómo se comportan las energías reactivas en el sistema eléctrico de este edificio.

**Tabla 6. Valores interpretativos del consumo de energías reactivas.**

Detalles				
	Mín	Media	Máx	EQ. Total
- EQ. Capacitiva total [kVArh]'	0,00	0,01	0,18	20,60
+ EQ. Inductiva total [kVArh]'	0,00	0,05	0,17	131,88



**Figura 26. Diagrama de energías reactivas inductivas y capacitivas.**

Una vez analizadas las energías reactivas, se procede con el análisis de la energía reactiva capacitiva en conjunto con el Fp. Esto se realiza con el fin de cubrir las brechas de inquietudes que puedan surgir más adelante, cuando se tomen los valores que formaran parte del grupo de decisión, que tendrán como tarea principal, ingresar como variables en las entradas de la RNA con RBF. Por tanto, en la **Figura 27**, se puede observar cómo se comporta las energías reactivas en conjunto con el Fp, demostrando una vez más, que uno de los grandes problemas presentes en este edificio es la presencia de un bajo Fp que por las noches es inferior a 0,92, y consumos de energía reactiva inductiva, que se presenta en el transcurso de las 24 horas del día. Por otra parte, la energía reactiva capacitiva tiene valores bajos que incluso son muy inferiores cuando la carga disminuye, demostrando que la generación de reactivos a favor del edificio es muy pequeña.

Con este análisis se fortalece la decisión de tomar medidas que puedan ayudar al sistema eléctrico de la edificación, teniendo un control del mismo, sin necesidad de ubicar equipos que vuelvan más robustos al sistema eléctrico existente. Por tanto, una solución que aportaría con este sistema, sería desconectar el transformador por las noches, siempre y cuando la necesidad de abastecimiento energético pueda ser abastecida por otra fuente de energía, que

en este caso sería la implementación de almacenadores de energía, para de esta forma aprovechar al máximo la energía proveniente de la mini-central fotovoltaica y utilizarla por las noches, cuando la carga disminuye, y las necesidades del sistema se adaptan a la energía que se produce en la mini-central existente.

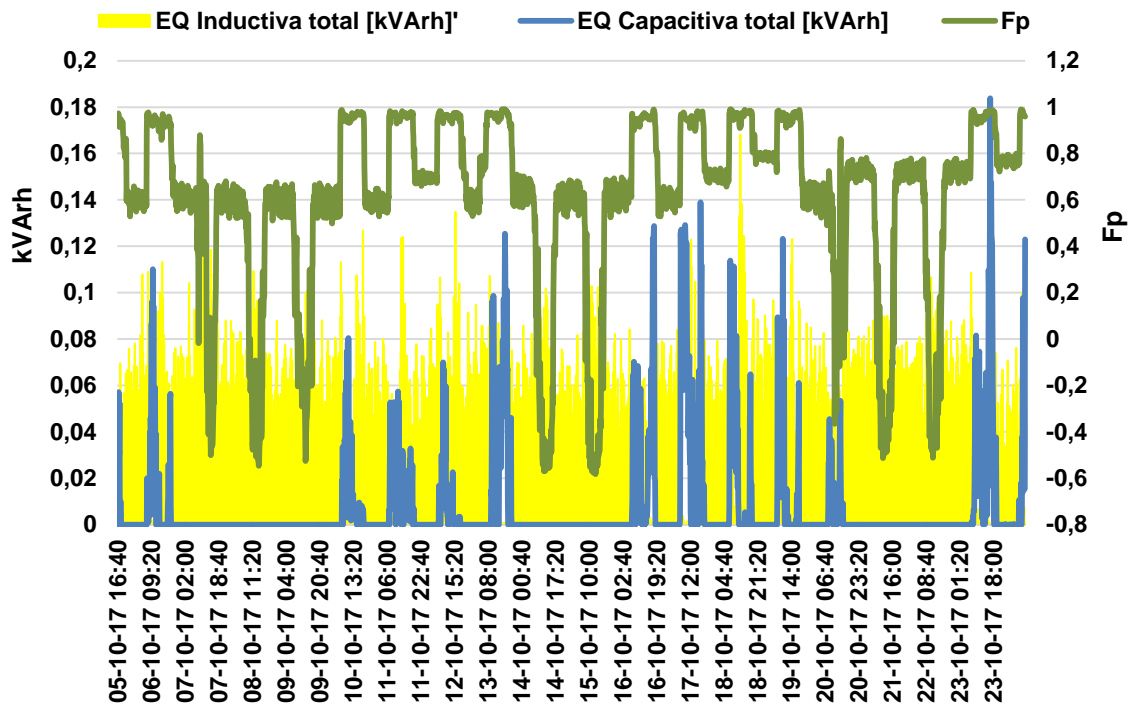


Figura 27. Diagrama comparativo.

### 4.3. Dimensionamiento del Sistema Inteligente a Implementar.

Una vez hecho el análisis del comportamiento energético de la edificación, podemos entender cuáles son las necesidades y problemas que existen en el sistema eléctrico de la edificación, y por tal razón se llegó a la conclusión, de implementar baterías para un mayor aprovechamiento energético, y así poder cubrir con parte de la demanda energética que el edificio requiere por las noches, y de esta forma, desconectar el transformador por las noches debido a su desperdicio energético que presenta en horario nocturno. Por tal razón, el **Punto 4.2.2**, es un ejemplo que clarifica los medios para la utilización de una


herramienta que aporte con el sistema eléctrico, llevándolo a un sistema energéticamente eficiente. Otro ejemplo que llevo a tomar esta decisión es el **Punto 4.2.5**, de donde se pudo observar, que cuando la energía que se genera en la mini-central fotovoltaica, pasa a cubrir parte de la demanda requerida por la edificación en las noches, se tendrá un sistema con mayor eficiencia energética y con visión a una futura expansión de la mini-central fotovoltaica.

### 4.3.1. Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento de Energía.


Para este dimensionamiento se realizó un análisis con la energía que el edificio consume de la red, y con las características principales que contiene la mini-central fotovoltaica existente. Con esto, se obtuvo el dimensionamiento de la batería, para la implementación del nuevo sistema.

Además, se aclara que la idea principal, es diseñar un sistema inteligente que sea flexible, y se adapte a cualquier situación, siendo capaz de actuar ante cualquier situación para la que se dimensionara el sistema. Por tanto, si a futuro se desea incrementar la potencia instalada en la mini-central fotovoltaica, este sistema podrá adaptarse a tal punto que no será necesario realizar ninguna modificación con respecto al sistema inteligente. Las características de la batería seguirá siendo la misma, ya que la energía que el edificio requiere por las noches no varía, por ende no es necesario incrementar la capacidad del sistema de almacenamiento cuando se incrementa la capacidad de generación de la mini-central fotovoltaica (**Figura 28**).

**Optimización del autoconsumo**



**Sunny Home Manager 2.0**  
La central de control con un equipo de medición integrado para una gestión inteligente de la energía



**Sunny Boy Storage 3.7-10**  
Para optimizar el autoconsumo en viviendas unifamiliares con batería de litio de alta tensión.  
Rango de tensión de la batería: 100 V-600 V

<b>Baterías:</b>	Litio	<b>Disponible:</b>	92 %
<b>Capacidad:</b>	7,00 kWh		

**Figura 28. Características del sistema de almacenamiento de energía (sunny web design).**

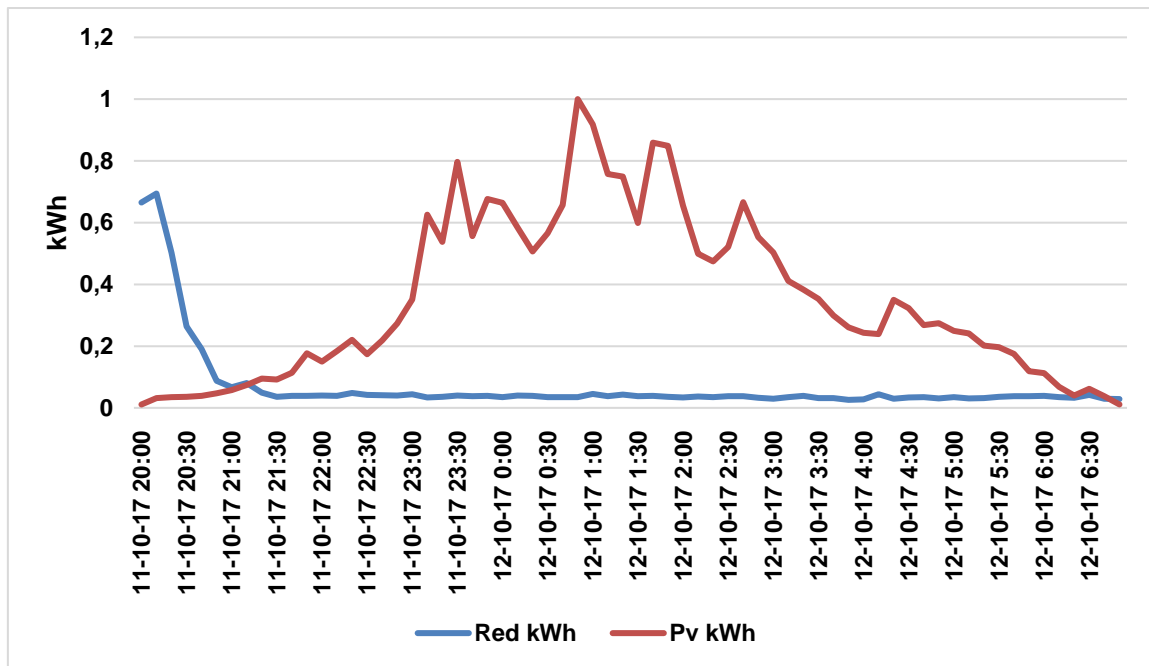
La batería que se va a implementar es de tecnología de litio de alta tensión; con un rango de 120 - 500 V, y con una capacidad de 7 kWh. Este dimensionamiento se realizó en el portal de *sunny web design*.

Con los requerimientos antes mencionados se decidió utilizar la batería de Litio LG Chem RESU 7H, la cual presenta las siguientes características (AutoSolar, n.d.):

- La batería RESU 7H está desarrollada específicamente para ser compatible con *SolarEdger*;
- Cuenta con una capacidad útil de 6,6 kWh;
- Se acopla con sistemas de SMA SB *Storage 2,5* y *Solaredge*;
- Se adapta a un consumo anual de 2000 kWh – 15000 kWh;
- El nivel de tensión de trabajo 120 – 500 V;
- Cuenta con una potencia máxima 3,5 kW;
- Cuenta con un pico de potencia de 7,0 kWh durante 10 segundos;
- Cuenta con una capacidad de 63 Ah;
- El peso de la batería es de 76 kg;
- Las dimensiones de la batería son de 744x692x206 mm (HxAxP);
- Presenta una profundidad máxima superior al 90%;
- Garantía de 10 años. Más de 6000 ciclos.

Para mayor información sobre la batería revisar el **Anexo 1**.

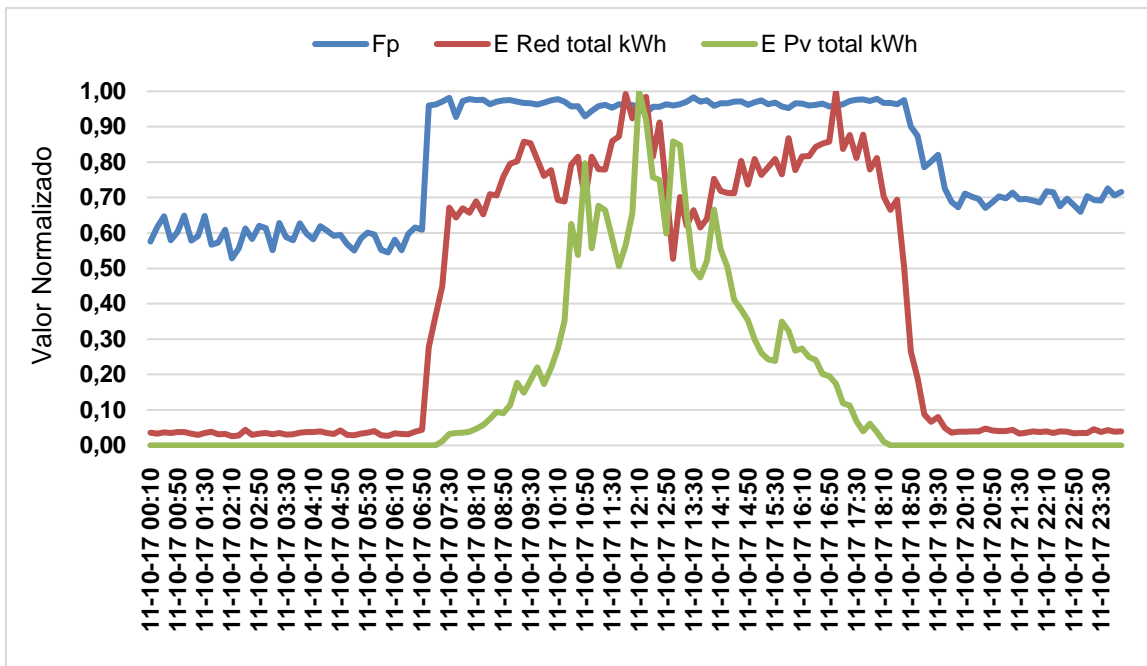
Una vez que se dimensionó el sistema de almacenamiento de energía, se incursionó en un análisis para conocer cuál sería el aporte de las baterías en el sistema eléctrico, en caso de almacenar toda la energía que se genera en el día, y utilizarla por las noches. Por esta razón, se realizó un análisis, de la energía que consume la carga en las noches, en conjunto con la energía que se genera en la mini-central fotovoltaica; estos datos corresponden a un día típico, tal es el caso del 11 de octubre del 2017. Por lo tanto, en la **Figura 29**, se muestra lo antes mencionado, de manera tal que, si se implementan las baterías y se desconecta el transformador por las noches, el sistema podrá cubrir con gran parte del consumo energético del edificio.



*Figura 29. Diagrama de aportación energética.*

#### 4.3.2. Diseño del Sistema Inteligente Utilizando RNA con RBF.

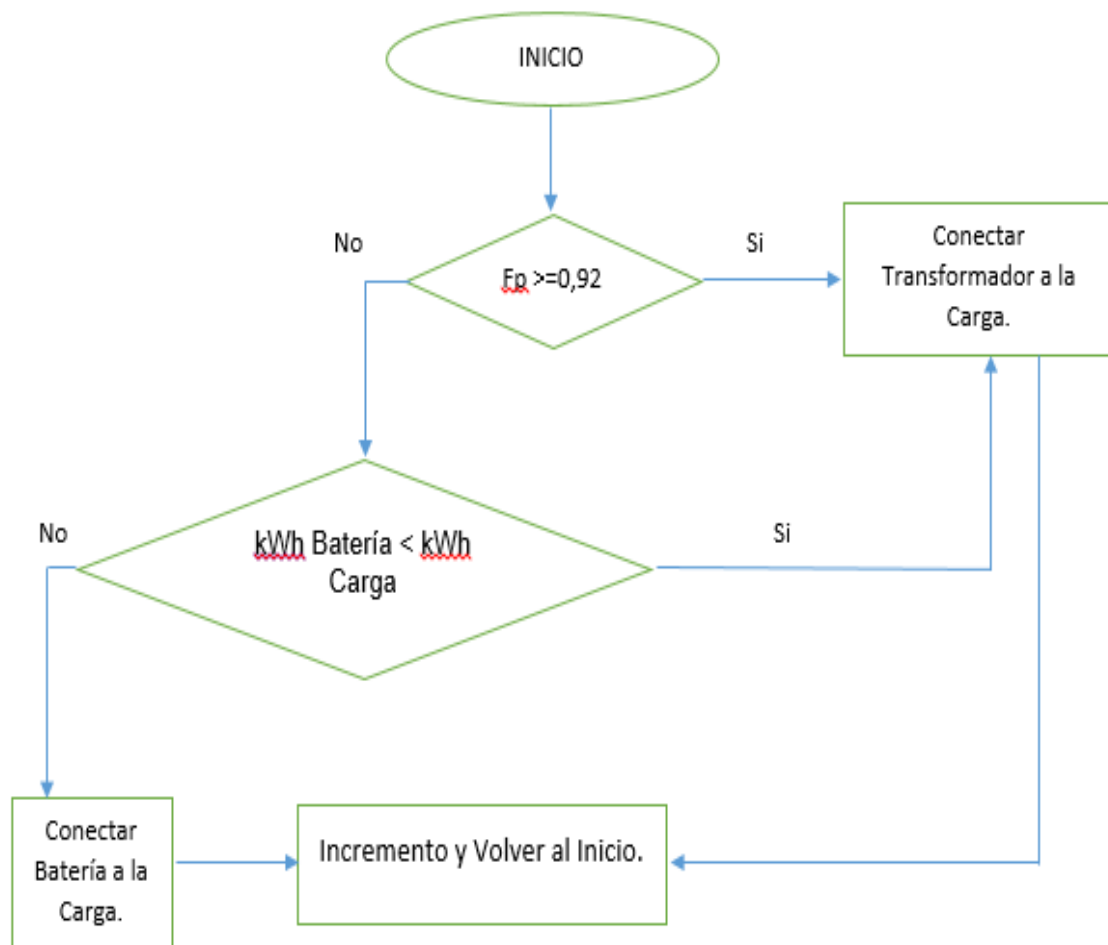
Una vez analizado los datos de mayor relevancia, y se tuvo una idea clara de cuáles serían los decisores para la toma de decisión; se decide trabajar con el Fp como decisor principal, y como segundo decisor se toma el consumo energético presente por la edificación. Para esto se trabaja con los valores pertenecientes a un día típico, que en este caso es el 11 de octubre del 2017. Por tanto, se toman los valores de los parámetros antes mencionados y se los normaliza entre 0 - 1, con el fin de que sean las entradas de la RNA con RBF, tal y como se lo muestra en la **Figura 30**. Por otra parte, la correcta interpretación de estos valores ayudará a entender los resultados que se obtendrán con la RNA.



**Figura 30. Valores normalizados para las entradas de la RNA con BRF.**

Con se puede observar la **Figura 30**, nos muestra cómo se comportan los datos que se van a ingresar a la RNA con RBF, y a la vez se puede tener una idea de cuál será el aprendizaje que debe tener la RNA, y como se debe adaptar a las situaciones que se presentarán con el ingreso de datos actualizados, asociando cada conjunto de entrada con el anterior conjunto que ha sido analizado, para dar una respuesta coherente y eficiente, que dé la orden de accionamiento a cualquier escenario de ser el caso.

El flujograma que se presenta en la **Figura 31**, muestra cómo debe comportarse la RNA con RBF, dejando un bosquejo muy claro sobre el comportamiento que debe tener la red eléctrica inteligente. En este caso si el valor correspondiente al Fp es menor a 0,92, pasa a analizarse el consumo energético, tal es el caso, que si el consumo energético proveniente de la red, es menor a la energía que pueda ser proporcionada por el sistema de almacenamiento, en ese instante entra en funcionamiento el sistema antes dimensionado para cubrir con la demanda en ese momento, desconectando el transformador de la carga, y así evitar los valores de Fp por debajo de 0,92.



**Figura 31. Flujograma para la toma de decisión.**

### 4.3.3. Creación de la RNA con RBF.

La creación de la red, se realizó en el software MatLAB; utilizando para ello, las herramientas existentes en este software para crear y entrenar la RNA con RBF, así como obtener los resultados esperados.

Para la creación de la RNA con RBF se utilizaron las siguientes órdenes principales, lo cual conformará la esencia de la red:

Se declaran las variables de entrada, con sus respectivos rangos entre (0 1), los cuales representarán cada una de las variables de entrada, conformando vectores, quedando como resultado la siguiente matriz:

- $P = [0 \ 1; 0 \ 1; 0 \ 1; 0 \ 1];$

Se declara la salida esperada, que contendrá valores del rango (0 1):

- `t=[0 1];`

Se realiza el llamado de la RNA con RBF, y se le presentan las variables de entrada (p) y el objetivo esperado (t):

- `net = newrbe (p,t);`

Con los comandos antes mencionados se logra entrenar la red quedando fija para su puesta en marcha. Se ingresa las variables con la que se desea trabajar para la obtención de los resultados:

- `P = [0.98;1;0.1;1];`

Simulamos la red, para que nos presente los resultados esperados con el siguiente comando:

- `Y = sim (net, p)`

Una vez que se obtiene los resultados se analizan y son discriminados para su correcta interpretación. De donde los valores que superen el 0,8, tendrán como salida “1”, que representara la conexión o permanencia del transformador en la carga, caso contrario significará que se tendrá como respuesta “0”, que significa desconectar transformador de la carga para conectar sistema de almacenamiento a la carga. Por tanto, tendremos las siguientes órdenes:

```
if y>=0.8
    salida=1
    disp('conectar transformador, y desconectar batería de la carga.
');
elseif y<0.8
    salida=0
    disp (' conectar batería, y desconectar transformador de la carga.
');
end
```

El valor de discriminación, que en este caso es 0,8, surge de un análisis exhaustivo, desde los valores de entrada, con las salidas esperadas que nos brinda la RNA con RBF. Por lo tanto, para escoger este valor se tuvo que analizar, cada uno de los parámetros que conforman las variables de entrada, para de esta forma tener una idea, acerca de cuál sería el comportamiento esperado de la red. De esta manera, se validó el valor de 0,8, como un umbral

de decisión partiendo del análisis de correlación de los valores obtenidos en la salida.

Una vez que se tiene la base principal de la RNA con RBF, se procede con el análisis estructural de la misma, con el análisis de los resultados que se obtienen de los datos ingresados a la red, perteneciente a un día típico. Estos datos se los puede apreciar en el **Punto 4.3.2**, incluyendo el valor constante del sistema de almacenamiento. Por tal razón, en la **Tabla 7**, se muestran ejemplos de las entradas que serán analizadas por la red.

**Tabla 7. Matriz de entradas.**

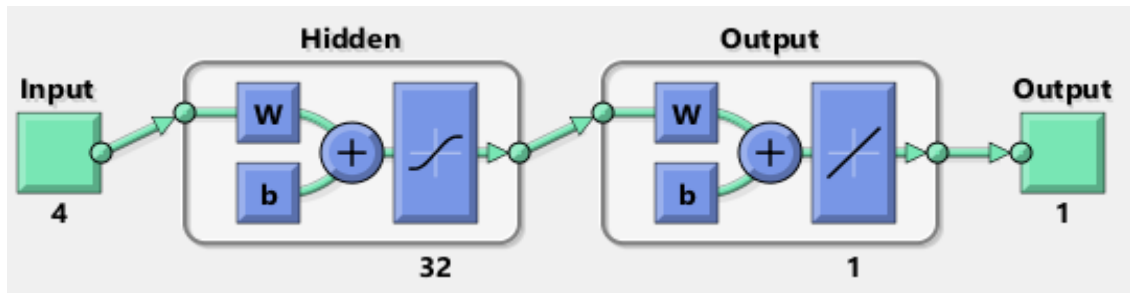
Valores Normalizados		Entradas			
		P1 (22:00h)	P2 (15:40h)	P3 (09:20h)	P4 (6:40h)
Variables	Fp	0,72	0,95	0,97	0,61
	kWh Red	0,04	0,87	0,85	0,04
	kWh Pv	0,00	0,32	0,02	0,00
	kWh Batería	1	1	1	1

Cada vector de entrada corresponde a la toma de datos que se realizó con el analizador de red *PQ-Box 100*, en un lapso de tiempo de 10 min, por ende, la RNA con RBF analizará en un día 144 vectores de entradas, compuestos por cuatro variables (matriz 4x144), tal como se muestra en la **Tabla 7**, en la cual se puede observar cuatro entradas tomadas al azar, de un día típico. El valor de las baterías, se presentará como un valor contante “1”, debido, a que en este caso se busca dar una solución al sistema, y por ende, se requiere de un sistema de almacenamiento que esté disponible para cualquier situación de emergencia, en el cual, se pueda reaccionar de forma favorable con el sistema y brindar una solución energética oportuna.

#### **4.3.4. Estructura y Entrenamiento de la RNA con RBF.**

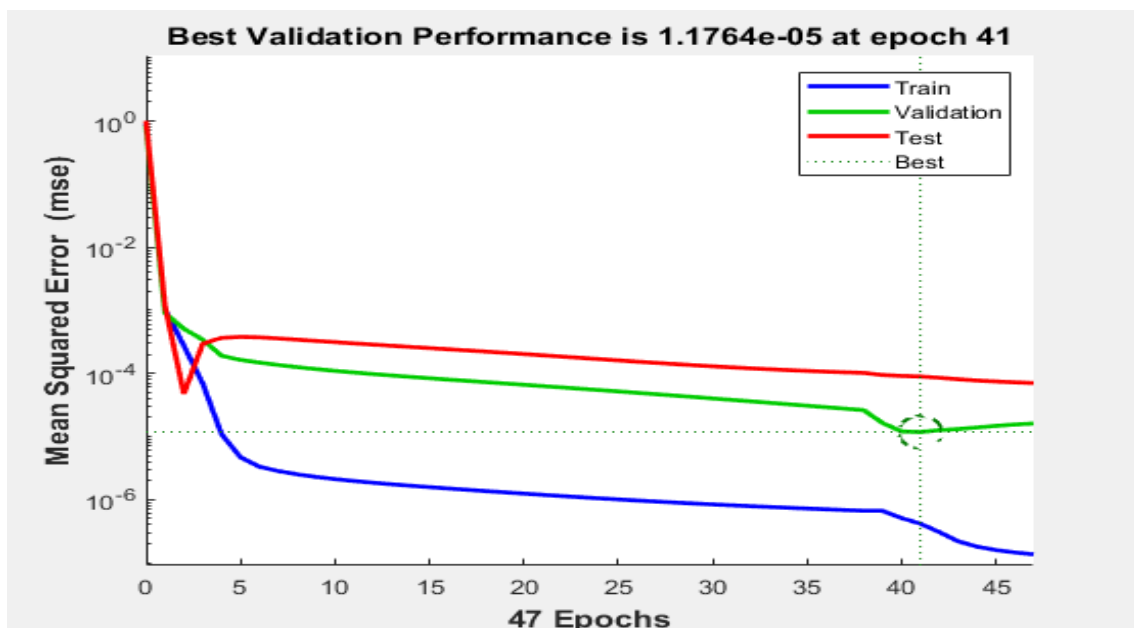
La estructura de la RNA con RBF, se aprecia a continuación en la **Figura 32** donde se ve como está estructurada, desde su inicio hasta la salida. A simple vista se puede apreciar que es una RNA sencilla, y precisamente por ello ampliamente empleada en sistemas eléctricos de distribución.

Esta RNA con RBF, está compuesta por cuatro neuronas en la capa entrada, con treinta y dos neuronas en la capa oculta, y con una neurona en la capa de salida, tal como se lo aprecia en la **Figura 32**. El número de neuronas en la capa oculta se define con la condición de  $2^n$ , donde “n” es el número de variables de entrada, aunque esta condición no es estrictamente de obligación, ya que las neuronas en la capa oculta pueden ser más o menos de treinta y dos.



**Figura 32. Estructura física de la RNA con RBF (MatLAB).**

Esta RNA con RBF, presenta un rendimiento de validación de  $1,1764e-05$  en la época 41, un excelente valor, que brinda garantía de los resultados obtenidos. Por otra parte, el entrenamiento, validación y las pruebas que se llevan a cabo en el aprendizaje de la RNA con RBF, demuestran que la red tiene un excelente aprendizaje y adaptación al medio para el cual se ha creado. Lo antes mencionado, se lo observa en las **Figura 33, 34 y 35**.



**Figura 33. Diagrama de rendimiento y validación de la RNA con RBF (MatLAB).**

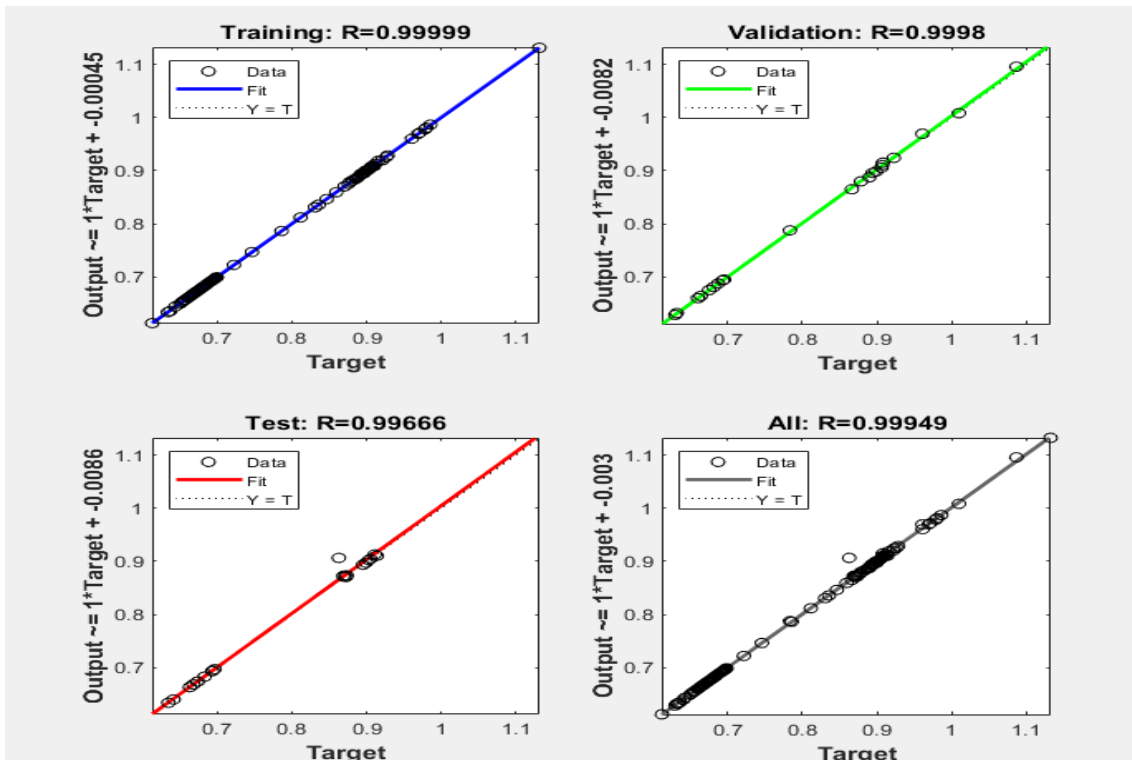


Figura 34. Regresión de entrenamiento de la RNA con RBF (MatLAB).

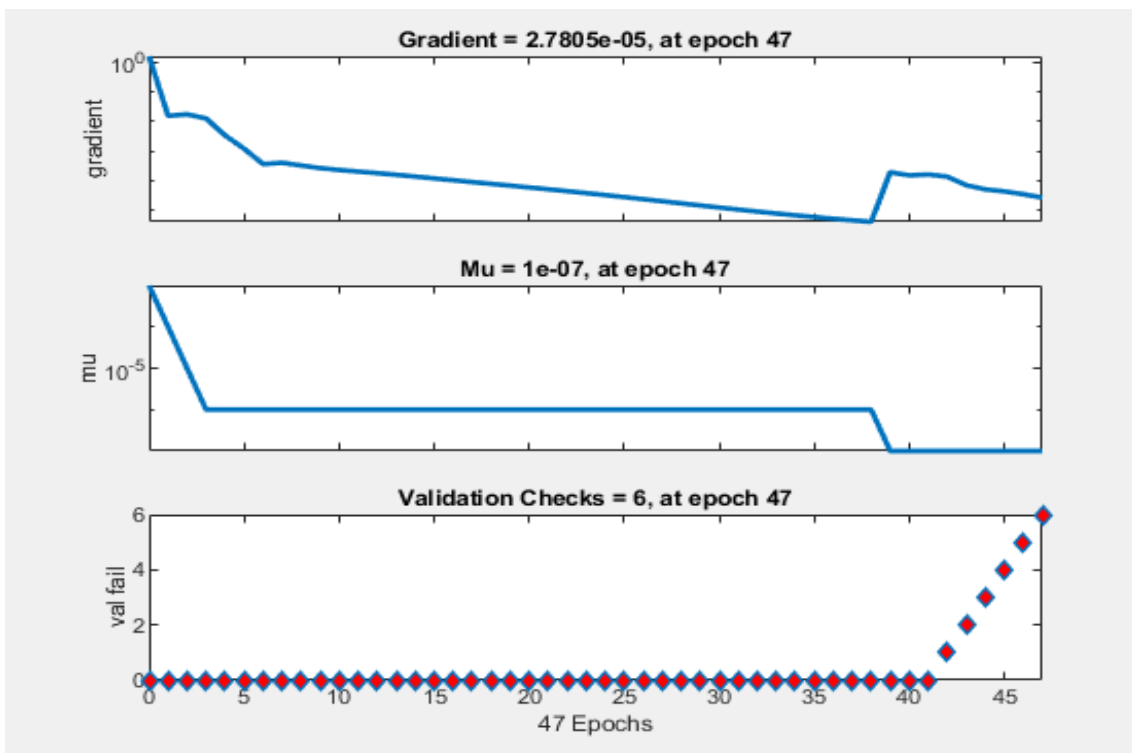
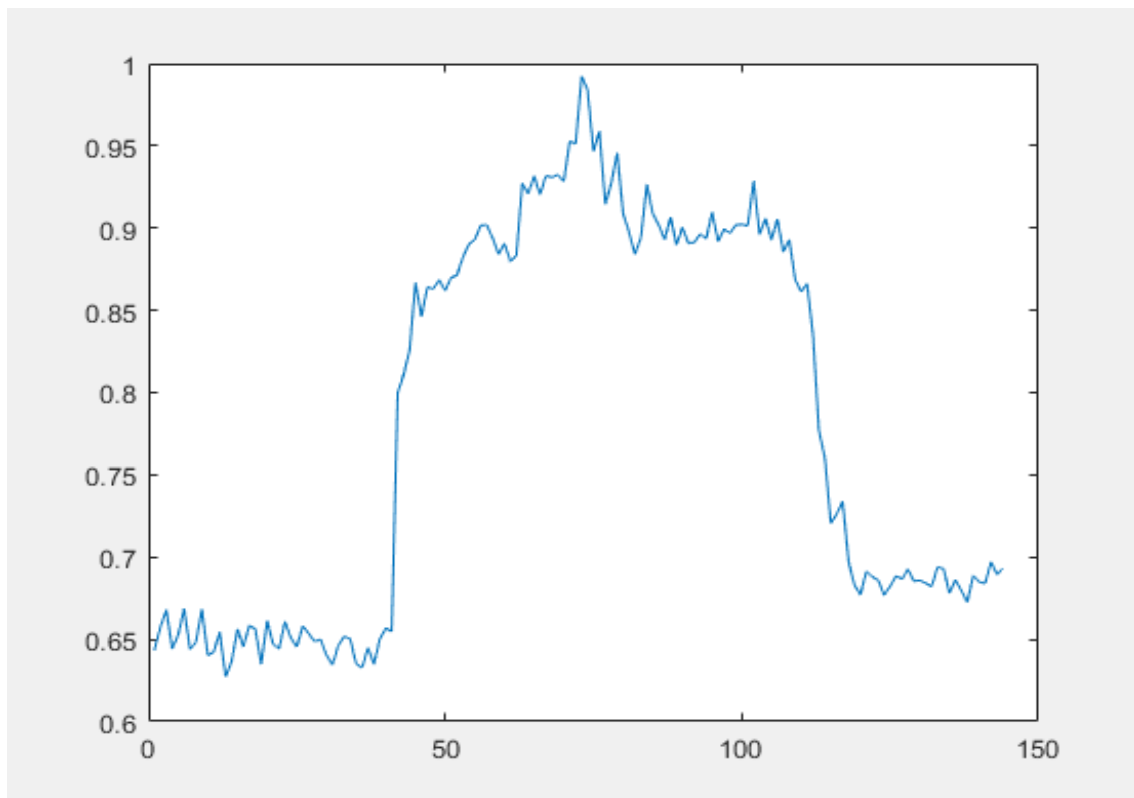


Figura 35. Estado de entrenamiento de la RNA con RBF (MatLAB).

#### 4.3.5. Análisis de los Resultados Brindaos por la RNA con RBF.

Los resultados que se obtienen de la RNA con RBF, se los presenta en la **Figura 36**, los cuales no presentan discriminación ninguna, con el fin de ir comprendiendo por qué se dio en un inicio el valor discriminativo de 0,8. Si se analizan, estos resultados con la **Figura 30**, se puede observar que el valor discriminativo justifica sus medios de utilización, ya que la RNA con RBF, realizó el análisis de las entradas, y asociando cada una las variables para brindar estos resultados que deben ser bien interpretados para su correcta utilización.



**Figura 36. Resultados (Y) expuestos por la RNA con RBF (MatLAB).**

Una vez, analizados los resultados expuestos en la **Figura 36**, se procede a discriminarlos para obtener el resultado final, que en este caso, se puede apreciar en la **Figura 37**, la cual está conformada por Y y Y', en donde Y representa a los resultados sin discriminación, los mismos que se presentaron en la **Figura 36**, y Y' representa a los resultados finales discriminados. Dejando

en claro, que esta figura es la representación del comportamiento de la red eléctrica inteligente.

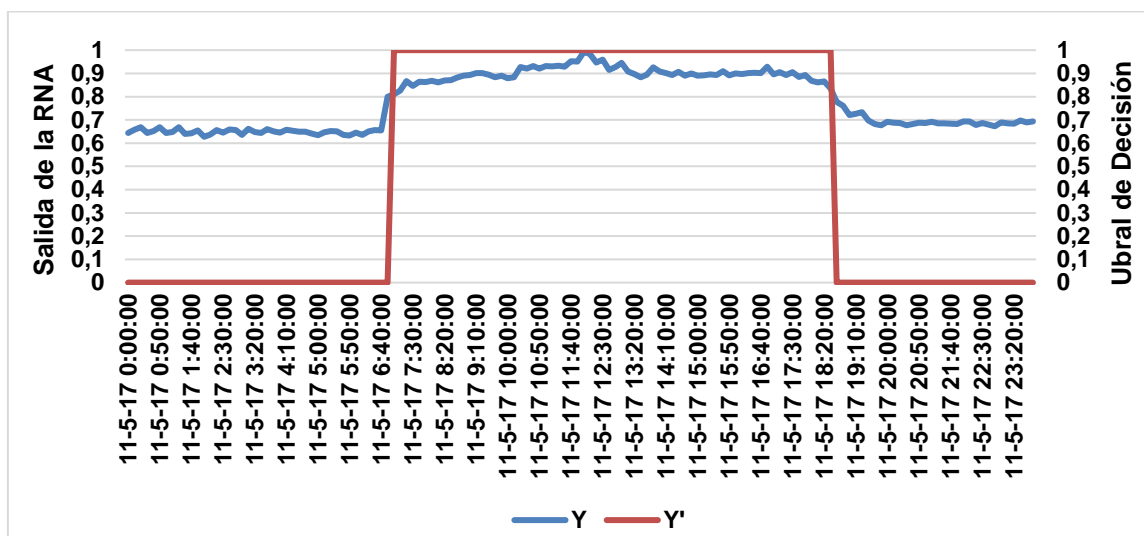
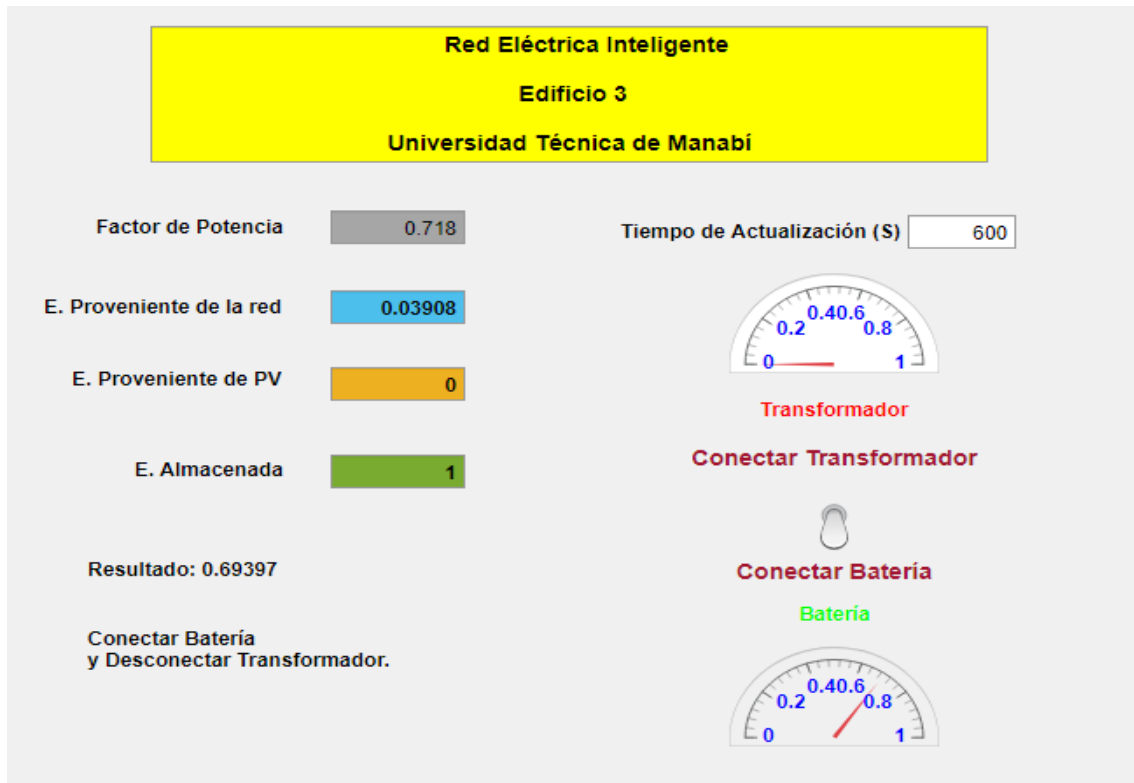


Figura 37. Comportamiento de resultados Y y Y'.

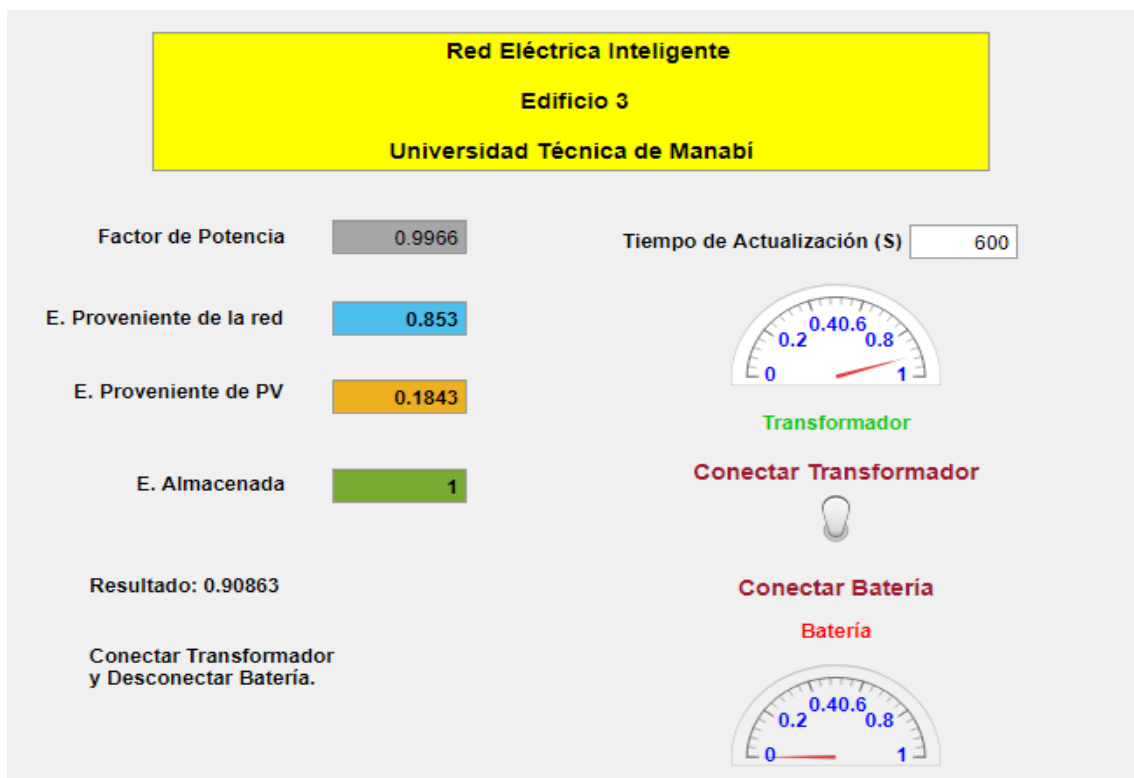
#### 4.3.6. Simulación de los Resultados Obtenidos de la RNA con RBF.

Esta simulación representa el comportamiento de la red eléctrica inteligente con los resultados antes estudiados. Para la obtención de esta simulación se utiliza la herramienta app designer presente en el MatLAB, con la cual se crea una mascarilla para representar de forma visual el comportamiento de la red eléctrica inteligente con su respectiva orden final.

Para tener un mayor entendimiento, se presentan las **Figura 38** y **39** en donde podemos observar claramente como está constituida esta mascarilla de simulación. La representación que muestra la mascarilla de la red eléctrica inteligente, tiende a ser didáctica con resultados concretos, ya que se puede observar, desde, las entradas que contiene la red, hasta las salidas en función de una orden a ejecutar. Además, esta misma mascarilla está dimensionada para recibir un cambio de entradas cada 10 minutos, en el caso de estar conectada a través de un interfaz arduino que le brinde los resultados de forma automática adquiridos por el analizador de red instalado en la edificación. Por otra parte en el **Anexo 2**, se muestra la programación que se realizó para obtener la mascarilla que representará a la red eléctrica inteligente.



**Figura 38. Simulación de red eléctrica inteligente 22:00h (MatLAB).**



**Figura 39. Simulación de la red eléctrica inteligente 09:20h (MatLAB).**

## 5. Análisis de Prefactibilidad Económica y Aportación Medio Ambiental.

---

En este capítulo se realizan los análisis de factibilidad económica y aportación medio ambiental, con la finalidad de justificar la incorporación de un sistema de almacenamiento de energía, gestionada por una red eléctrica inteligente, la cual brindará eficiencia energética, mejorando el funcionamiento del sistema eléctrico presente en el edificio N° 3 de docentes de la Universidad Técnica de Manabí.

### 5.1. Análisis de Prefactibilidad Económica.

Para este análisis se toman los valores correspondientes a los costos de energía, costos de batería, y costo del inversor con implementaciones requeridas para el acoplamiento de la batería.

- Los costos de energía se los obtuvo de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2018);
- El costo de la batería y del inversor con implementaciones requeridas para el acoplamiento de la misma se lo obtuvo de AutoSolar, n.d.

Para mayor información sobre los costos de energía regulados en el Ecuador dirigirse al **Anexo 3**.

Una vez conocido las fuentes de donde se obtuvieron los costos referenciales correspondientes a los elementos antes mencionados, se procede con el análisis económico, el cual se divide en cuatro análisis:

- Facturación de la energía que se consume en el edificio por parte de la red;
- Facturación de la energía que se consume de la mini-central fotovoltaica;
- Facturación de la energía que el edificio consume en el horario de 07:00 h a 22:00 h;
- Ahorros obtenidos y análisis de recuperación de la inversión.

### 5.1.1. Facturación de la Energía que se Consume en el Edificio por Parte de la Red y de la Mini-central Fotovoltaica.

Es este análisis se toma en cuenta el tipo de tarifa que tiene la Universidad Técnica de Manabí, que corresponde a una tarifa en media tensión con demanda horaria, la cual está regulada por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2018), en este mismo reglamento se encuentra el análisis para la penalización en caso de presentar un bajo Fp. Por tanto, para saber cuál es el factor de penalización por bajo Fp, se utiliza la siguiente condición.

$$FP_r = \begin{cases} P_{BFP} = 0 & \text{si } FP_r \geq 0.92 \\ P_{BFP} = B_{Fp} \times FSPEE_i & \text{si } FP_r < 0.92 \rightarrow B_{Fp} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \end{cases} \quad (5.1)$$

De donde:

- FPr = Factor de potencia registrado;
- PBFP = Penalización por bajo factor de potencia;
- BFp = Factor de penalización;
- FSPEEi = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

Es de suma importancia conocer cómo se realiza las penalizaciones por el bajo Fp en Ecuador, ya que, en otros países como Portugal, se factura el consumo de energía reactiva consumida y se penaliza el bajo Fp cuando los valores de  $Q > 0,3 \times P$ , caso que en Ecuador no tiene nada de similitud, ya que, no se realiza facturación al consumo de energía reactiva, y solo se penaliza el bajo Fp (ver **Anexo 4**), tal como se lo aprecia en la **Tabla 8**.

**Tabla 8. Facturación de la energía proveniente de la red.**

Descripción de Consumo Energético Sin Subsidio del Gobierno				
	Costo de Energía	Consumo	unidad	Valores
Energía 07:00h-22:00h	\$ 0,095	4.288,25	kWh	\$ 407,38
Energía 22:00h-07:00h	\$ 0,077	287,74	kWh	\$ 22,16
Demanda Mensual	\$ 4,576	29	kW	\$ 132,70
			<b>Total</b>	\$ 562,24
Factor de Potencia	0,63			
Factor de Penalización por Bajo Fp	0,47	Pago por Penalización de Bajo Fp	\$ 262,08	
Valore a Pagar		Comercialización	\$ 1,41	
		<b>Total a Pagar</b>	<b>\$ 825,74</b>	

Como es de entender, se realiza la facturación sin subsidio del gobierno, ya que el mismo reconoce los valores de penalizaciones y subsidios energéticos, que al fin y al cabo terminan siendo facturados por la CNEL. EP (Unidad de Negocio Manabí). Por tanto, en la **Tabla 8**, se aprecian los pagos que la universidad realiza por el consumo de energía, incluyendo los pagos de penalización por el bajo Fp, ya que hasta la fecha no se realiza corrección alguna para mejorar el Fp.

Por otra parte, la aportación energética y económica que brinda la mini-central fotovoltaica, muestra una vez más que si se almacena la energía que es generada, se tendrá un gran aporte energético, cubriendo gran parte de la energía que requiere la edificación en horas de la noche, tal como se muestra en las **Tabla 8 y 9**.

**Tabla 9. Facturación de la energía que la mini-central aporta al edificio.**

Descripción de Energía Proveniente de la Mini-central Fotovoltaica				
	Producción	Unidad	Costo de Energía	Valor
E. Generada al Mes	300,64	kWh	\$ 0,077	\$ 23,15
E. Generada al Año	3.607,66	kWh	\$ 0,077	\$ 277,79

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, al dejar de consumir energía en el periodo de las 22:00h – 07:00h, el pago energético en la edificación disminuye considerablemente, además se toma en cuenta que de

esta forma también se aporta indirectamente con el Fp, ya que la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2018), fija un valor promedio mensual de bajo Fp, presente en la instalación eléctrica de la entidad consumidora, por ende, si en el transcurso de este periodo se desconecta el transformador y se conecta el sistema de almacenamiento de energía eléctrica, se lograría mejorar el valor promedio del Fp, logrando disminuir los pagos de penalización, tal como se lo muestra en la **Tabla 10**.

**Tabla 10. Facturación de la energía proveniente de la red.**

Descripción de Consumo Energético Sin Subsidio del Gobierno				
	Costo de Energía	Consumo	unidad	Valores
Energía 07:00h-22:00h	\$ 0,095	4.288,25	kWh	\$ 407,38
Energía 22:00h-07:00h	\$ 0,077	0,00	kWh	\$ -
Demanda Mensual	\$ 4,576	29	kW	\$ 132,70
			<b>Total</b>	\$ 540,09
Factor de Potencia	0,75			
Factor de Penalización por Bajo Fp	0,22	<b>Pago por Penalización de Bajo Fp</b>		\$ 118,43
<b>Valor a Pagar</b>		<b>Comercialización</b>		\$ 1,41
		<b>Total a Pagar</b>		\$ 659,93

El ahorro económico y energético que se presenta con el mejoramiento del factor de potencia, mediante un sistema de almacenamiento, deja frutos alentadores, por su gran utilidad en conjunto con un sistema inteligente que le permita gestionar la energía almacenada de forma eficiente. Por tanto, el ahorro que se obtiene con este sistema se lo presenta en la **Tabla 11**, en la cual se detalla el ahorro energético y económico.

**Tabla 11. Ahorros energéticos y económicos.**

Ahorro	Mes	Año	Valor Económico anual
E. almacenada	300,64 kWh	3.607,66 kWh	\$ 277,79
E. que se deja de consumir de red en el periodo 22:00h - 07:00h	287,74 kWh	3.452,92 kWh	\$ 265,87
<b>Ahorro económico</b>	/	/	<b>\$ 11,92</b>
<b>Ahorro por bajo Fp</b>	\$ 165,81	/	<b>\$ 1.989,68</b>
<b>Ahorro Económico Total</b>			<b>\$ 2.001,60</b>

Como se observa en la **Tabla 11**, mejorando el promedio Fp presente en las instalaciones eléctricas de la edificación, se obtiene un ahorro mayor, siempre y cuando se cumplan las condiciones de almacenamiento, y dejar de consumir energía de la red en el periodo indicado en la misma tabla. Por tal razón, mejorar el sistema es de total utilidad.

### 5.1.2. Análisis de Prefactibilidad.

Con este análisis se busca determinar si la inversión a realizar con el sistema de almacenamiento es factible o no. Por tanto, en la **Tabla 12**, se detallan los valores con los que se trabajó para este análisis.

**Tabla 12. Valores requeridos para el análisis de Prefactibilidad.**

Elementos	Detalles	Costos	Tasa de Descuento	10%
Batería	3,5 kW	\$ 7.098,87	Vida Útil (años)	20
Inversor	2,5 kW	\$ 1.261,68		
Mantenimiento anula	4	\$ 120,00		
Ahorro Total		\$ 2.001,60		

Los costos asociados con la batería y el inversor, se los obtuvo de AutoSolar, n.d.

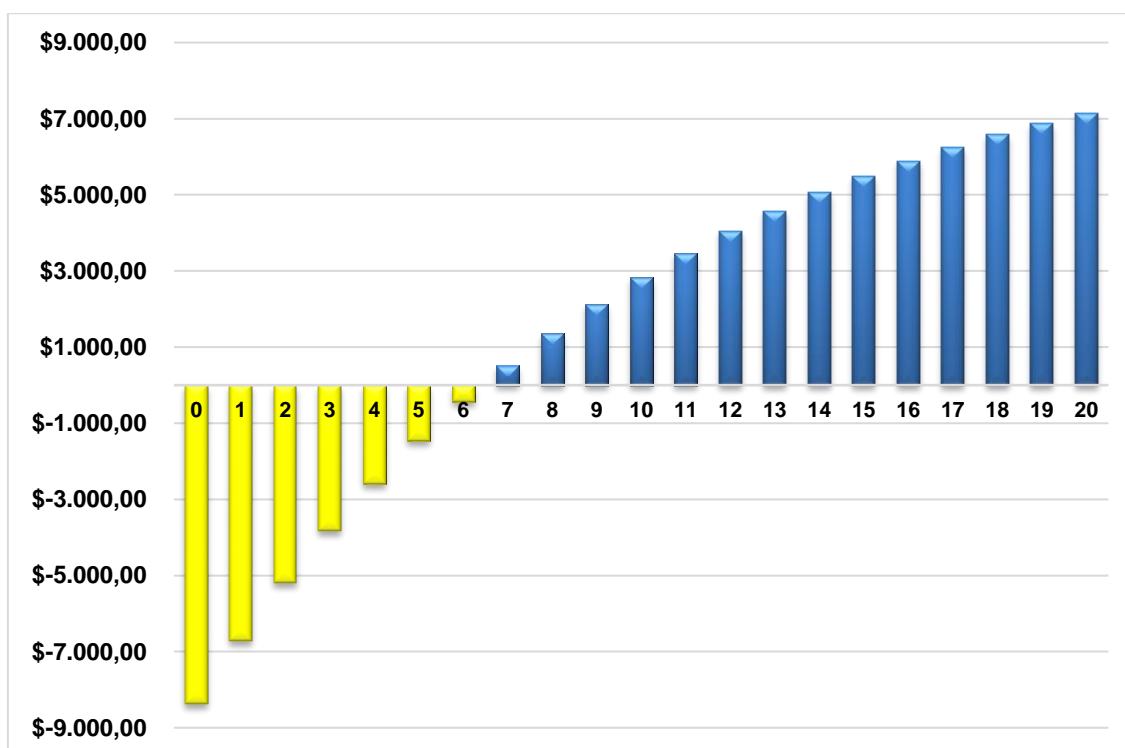
El costo de mantenimiento ubicado en la **Tabla 12**, es un referente con lo que normalmente se cobra en Ecuador por el mantenimiento de un equipo, considerando sus características. Por otra parte, la tasa de descuento que se aplica en este análisis es del 10%, ya que se va implementar un sistema de almacenamiento para mejorar una infraestructura de aprovechamiento energético existente. Además, se utiliza un tiempo de vida útil de 20 años ya que el fabricante brinda una garantía de 10 años, más de 6000 ciclos; por tal razón se decide tomar este valor considerando la garantía brindada por él fabricante.

Con las consideraciones antes mencionadas se procedió a realizar el análisis de factibilidad obteniendo los siguientes resultados, expresados en la **Tabla 13**.

**Tabla 13. Resultados del análisis de prefactibilidad.**

<b>VAN</b>	\$ 7.147,72
<b>TIR</b>	21%
<b>PAY- BACK (años)</b>	7

Con el análisis de prefactibilidad se demostró, que la implementación de un sistema de almacenamiento, gestionado por un sistema inteligente con el fin mejorar el sistema eléctrico de la edificación, es totalmente factible, ya que, los resultados expuestos en la **Tabla 13**, muestran comportamiento del flujo económico que tendrá el sistema, obteniendo una recuperación de la inversión en 7 años, prácticamente un periodo de recuperación muy bueno, teniendo en cuenta que este periodo es inferior a los años de garantía que cubre el fabricante. Por tanto, en las **Figura 40**, se puede observar cómo se comportan cada uno de los resultados expuestos con el análisis de prefactibilidad.



**Figura 40. Comportamiento del flujo económico.**

## 5.2. Análisis de la Aportación Ambiental.

Con este análisis se demuestra que esta investigación, tiene frutos no tan solo económicos o energéticos, sino también, frutos ambientales, ya que su aportación con el ambiente es muy buena, logrando reducir emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Por tal razón, se detalla a continuación cómo se obtuvo la aportación ambiental.

Para este análisis se toma un factor de emisión de 0,7079 Kg CO<sub>2</sub> e / kWh, el cual se lo obtuvo de Ministerio del Ambiente, (2013), este factor, se lo aplica para todos los sistemas que se encuentren conectados al sistema nacional interconectado. Atendiendo a que la energía que se consume en la UTM proviene del sistema nacional interconectado, las aportaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, se la tiene que analizar con este mismo factor, debido, a que su aportación será evaluado en función con el nuevo sistema que se va a implementar, ya que, este será el aporte para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera producidas por las centrales que generan la energía eléctrica que circula por el sistema nacional interconectado.

Para el cumplimiento de este análisis, se tomaron en cuenta dos escenarios, las emisiones que se dejan de expulsar al ambiente con la mini-central fotovoltaica y con la incorporación del sistema inteligente en conjunto con la batería. Para esto, se requiere del consumo energético anual que proveniente de la red y de la mini-central fotovoltaica, tal como se lo muestra en las **Tabla 14** y **15**.

**Tabla 14. Reducción de emisiones con la mini-central fotovoltaica.**

	Consumo Anual	Unidad	Emisión a la Atmosfera	Unidad
E. consumida de la red	54.911,89	kWh/año	38,87	ton CO <sub>2</sub> e
E. consumida de la mini-central	3.607,66	kWh/año	2,55	ton CO <sub>2</sub> e
E. total equivalente 1	51.304,28	kWh/año	36,32	ton CO <sub>2</sub> e

Como se puede observar en la **Tabla 14**, la cantidad de CO<sub>2</sub> que se dejan de emitir a la atmosfera con la mini-central fotovoltaica es de 2,55 ton CO<sub>2</sub> e,

dejando un valor de emisión existente de 36,32 ton CO<sub>2</sub> e, equivalente a 51304,28 kWh. Por tanto, se desea disminuir aún más la emisión de CO<sub>2</sub>, con la incorporación del nuevo sistema inteligente más el sistema de almacenamiento. Este análisis se lo aprecia en la **Tabla 15**.

**Tabla 15. Reducción de emisiones con la REI y batería.**

	<b>Consumo anual</b>	<b>Unidad</b>	<b>Emisión a la atmósfera</b>	<b>Unidad</b>
<b>E. total equivalente 1</b>	51.304,28	kWh/año	36,43	ton CO <sub>2</sub> e
<b>E. consumida en el periodo 22:00h – 07:00h</b>	3.452,92	kWh/año	2,44	ton CO <sub>2</sub> e
<b>E. Total equivalente 2</b>	47.851,31	kWh/año	33,87	ton CO <sub>2</sub> e

Los resultados son totalmente evidentes, demostrando el aporte, que tendría la implantación de un sistema inteligente en conjunto con la batería, ya que, si se deja de consumir energía proveniente de la red en las noches, y se consume la energía que se almacena en la batería, se lograría disminuir un aproximado de 2,44 ton CO<sub>2</sub> e, de emisiones a la atmósfera.

## 6. Capítulo VI. Comparación de Resultados.

---

En este apartado se procede con un análisis de los resultados para obtener las conclusiones que deja esta investigación y con ello realizar la propuesta de trabajos futuros.

### 6.1. Conclusiones.

Las redes eléctricas inteligentes, conforman una de las metodologías inteligentes que cuentan con la capacidad de brindar mayor flexibilidad a cualquier sistema eléctrico, con la finalidad de reducir costos energéticos y reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por tal motivo, los países Europeos son los pioneros en la incorporación de estas metodologías, que brindan inteligencia a los sistemas eléctricos.

La inteligencia artificial y la inteligencia computacional garantizan el exitoso desempeño que las redes eléctricas inteligentes han adquirido hasta la actualidad. A partir de la correcta gestión que debe tener un sistema inteligente.

En este trabajo se utiliza una RNA con RBF, la cual brinda los requerimientos y características necesarias para sistemas eléctricos de distribución. Esto se debe, a su rapidez en el aprendizaje y por ende, rapidez en la obtención de resultados. Esto es de gran beneficio, ya que, la actuación que se requiere en los sistemas eléctricos tiene que ser lo más rápido posible para una respuesta en tiempo.

Los resultados brindados por esta RNA con RBF, mostraron gran confiabilidad y certeza de los mismos, logrando ser el corazón de esta red eléctrica inteligente.

Con el análisis económico y ambiental se justifica, la implementación de un sistema de almacenamiento de energía, para formar parte del nuevo sistema inteligente y corregir diferentes anomalías presentes en el sistema eléctrico de

la edificación, lo cual queda evidenciado en el análisis de prefactibilidad realizado.

Las reducciones en los pagos energéticos demuestran que con la implementación de una red eléctrica inteligente se obtienen beneficios notables y de gran relevancia para la UTM y para el estado Ecuatoriano, ya que, estos son los entes que realizan los pagos energéticos. Por tal razón, si se implementa una red eléctrica inteligente en todo el campus de la UTM, se podrá obtener reducciones en los pagos energéticos de gran envergadura.

Esta investigación no solo dejó resultados económicos, si no, también resultados ambientales favorables con el medio ambiente, demostrando una vez más que la implementación de una red eléctrica en las edificaciones de la UTM, es de suma importancia, ya que de esta forma se puede brindar un ejemplo a la sociedad para hacer conciencia de los grandes beneficios que conlleva la utilización de sistemas eléctricos inteligentes.

## **6.2. Propuesta de Trabajos Futuros.**

Una vez, que se creó la red eléctrica inteligente y se realizaron los análisis económicos y ambientales, se demostró, que los medios para la incorporación de una red eléctrica inteligente más la inserción de baterías en el sistema, son totalmente factibles y viables, para la UTM. Por tanto, se propone implementar en el edificio N° 3 de docentes, la red eléctrica inteligente planteada añadiendo un sistema de almacenamiento, que ayudará con la debida gestión energética que tiene que realizar la red inteligente, ya que, los problemas energéticos en la edificación son evidentes y de gran perjuicio para la institución.

Para poder establecer su implementación, se hace necesario el trabajo en tiempo real de la red eléctrica inteligente con la captura de la información que se genera cada 10 minutos en el analizador de red. En este sentido se deberá trabajar en el diseño de la interfaz para ese acoplamiento y poder tomar las decisiones de conexión y desconexión oportunamente.

Se propone además seguir en la generalización de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación al resto de las edificaciones de la UTM, con la

finalidad de lograr mejoras considerables en la gestión energética, con aportaciones a la eficiencia energética de la UTM.

Se recomienda realizar el análisis de la capacidad de instalación de paneles solares al interior de la UTM de cara a aumentar la energía aportada a la red por fuentes renovables de energía.

Se considera además proponer el estudio de incorporación de elementos almacenadores de energía (baterías) que permitan en cada uno de los escenarios garantizar la calidad de la energía con una mayor eficiencia.

## Referencias.

---

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Servicio público de energía eléctrica. Periodo: enero - diciembre 2018.* Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
- Akira, K., Takao, T., Tsutomu, O., Takuhei, H., Tadahiro, G., Kenji, H., ... Shinsuke, T. (2012). A study on estimation method of reactive power control of DGs in distribution systems with a large amount of PVs. *Power Plants and Power Systems Control*, 387–392. <https://doi.org/10.3182/20120902-4-FR-2032.00069>
- Andrés, C., Andrade, D., & Hernández, J. C. (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica-Estado del Arte, 9, 53–81. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4115/411534385004.pdf>
- Armas, D., & Montelier, S. (2010). Estimación de cargas térmicas de climatización de hoteles mediante simulación y redes neuronales artificiales. *Energética*, XXXI(3), 13–18. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/3291/329127745003/>
- AutoSolar. (n.d.). Batería Litio LG Chem Resu 7H para SolarEdge | al Mejor Precio. Retrieved May 17, 2018, from <https://autosolar.es/baterias-de-litio/bateria-litio-lg-chem-resu-7h-para-solaredge>
- Barrero, E., Fernández, B., & Llanes, O. (2014). “ Propuesta de procedimiento para configurar una red neuronal artificial de Base Radial con aplicaciones en el diagnóstico de fallos ,” (December 2014), 60–75.
- Beleño, K., Berrio, J., Pardo, A., & Oscar, G. (2013). Diseño de una smart grid para un sistema híbrido de energía Design of a smart grid for a hybrid power system. *Prospect*, 11(2), 94–101.
- Daza, S. P. (2000). Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones, 390.

- Elena, S., & Medina, R. (2012). *Modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/8276/1/43926734.2012.pdf>
- Energía y Sociedad. (2010). SMARTGRIDS Redes eléctricas inteligentes. *Mercados Energeticos*, 1(1), 20–39. Retrieved from <http://www.energiaysociedad.es/wp-content/uploads/pdf/smartgrids.pdf>
- Etsi, D. B. (2010). Smart Grids From the Machine to Machine Perspective. *Energy*, (April). Retrieved from [http://www.future-internet.eu/fileadmin/documents/valencia\\_documents/sessions/smart\\_energy/5.\\_boswarthick.pdf](http://www.future-internet.eu/fileadmin/documents/valencia_documents/sessions/smart_energy/5._boswarthick.pdf)
- Fedit, & Electronica - Tecnologías de la información y telecomunicaciones. (2011). Smart Grids Y La Evolución De La Red Eléctrica. *Fedit*, 82. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7459614>
- Fossati, J. P. (2011). Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes. Literature review of microgrids. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 9(9), 13–20. Retrieved from [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_239\\_Revisinbibliograficamicroredesinteligentes.-Fossati.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_239_Revisinbibliograficamicroredesinteligentes.-Fossati.pdf)
- Galán Asencio, H., & Martínez Bowen, A. (2010). Inteligencia artificial . Redes neuronales y Aplicaciones, 8. Retrieved from <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/10-11/06mem.pdf>
- García, D. J. (2007). Diagnóstico de Fallos en Líneas de Transmisión de la Energía Eléctrica Empleando Redes Neuronales Artificiales. *Tesis En Opción Al Título Académico de Máster. Universidad de Oriente, Cuba*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/1813/181317871008/>
- García, T., Carlos, J., & López, L. (2011). Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas a la Red Eléctrica Inteligente ( Smart Grid ). *Novótica*, 213, 29–34.
- Gonçalo, J., & Ribeiro, A. (2014). Previsão de preços de eletricidade para o mercado MIBEL. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/75709/2/31953.pdf>
- Gonz, C. (2018). Lógica Difusa. Retrieved from

- [https://www.ecured.cu/Lógica\\_difusa](https://www.ecured.cu/Lógica_difusa)
- Gonzalez, Á. (2012). Propuesta de la introducción de la energía renovable en la vivienda Mexicana. Retrieved from <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8845>
- González López, Á. J. (2012). Gestión de la energía en una red inteligente. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10016/14698>
- González López Directores, Á. J., & Eloy-García Carrasco Manuel García Plaza, J. (2012). GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN UNA RED INTELIGENTE. *Gestion de La Energia En Una Red Electrica*, 60–115. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/29403010.pdf>
- González Morcillo, C. (2011). Lógica Difusa, una introducción práctica. *Técnicas de Softcomputing*, 29. Retrieved from [http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011\\_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf](http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf)
- Gonzalez, V., Contreras, J., & Bunn, D. W. (2012). Forecasting Power Prices Using a Hybrid Fundamental-Econometric Model. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 363–372. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2167689>
- Hornby, R., Salamone, C., Perry, S., White, D., & Takahashi, K. (2008). Advanced Metering Infrastructure – Implications for Residential Customers in New Jersey. Retrieved from [http://nj.gov/rpa/docs/AMI\\_White\\_Paper-\\_final.pdf](http://nj.gov/rpa/docs/AMI_White_Paper-_final.pdf)
- Iglesias, J. A. (2010, January 19). *Modelado automático del comportamiento de agentes inteligentes*. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/7455>
- Jain, A. K., Mao, J., & Mohiunffin, K. M. (1996). Artificial Neural Networks: A Tutorial. Retrieved from [http://metalab.uniten.edu.my/~abdrahim/mitm613/Jain1996\\_ANN - A Tutorial.pdf](http://metalab.uniten.edu.my/~abdrahim/mitm613/Jain1996_ANN - A Tutorial.pdf)
- Jha, G. K. (2007). Artificial neural networks and its applications, (August). Retrieved from [http://www.iasri.res.in/ebook/ebadat/5-Modeling and Forecasting Techniques in Agriculture/5-ANN\\_GKJHA\\_2007.pdf](http://www.iasri.res.in/ebook/ebadat/5-Modeling and Forecasting Techniques in Agriculture/5-ANN_GKJHA_2007.pdf)
- Jim, A., & Guti, M. A. (2000). Tema 2 : Inteligencia computacional y conocimiento ¿

- Qu ´ e es la inteligencia computacional ? *Inteligencia Artificial*, 1–18. Retrieved from <https://www.cs.us.es/~jalonso/cursos/ra-99/temas/tema-02.pdf>
- Lustosa, V. G. (2004). Universidade Católica de Brasília Bacharelado de Sistemas de Informação O Estado da Arte em Inteligência Artificial. *Artificial Intelligence*, 2.
- Manuel Saltos Arauz, W., Intriago Cedeño, G., Salvatierra Chávez, S., Vázquez Pérez, A., & Rodríguez Gámez, M. (2017). Microgrid With a 3.4 kWp Photovoltaic System in the Universidad Técnica de Manabí. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 1(2), 11–20. <https://doi.org/10.21744/ijpse.v1i2.34>
- Martínez Ochoa, S. (2012). Smart grids : presente y futuro del sistema eléctrico. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15495?locale-attribute=en>
- Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. *Historia*, 55. Retrieved from <ftp://decsai.ugr.es/pub/usuarios/castro/Material-Redes-Neuronales/Libros/matich-redesneuronales.pdf>
- Ministerio de Electricidad y Energías Renovable. (2017). Redes Inteligentes y Sostenibilidad Energética reunirán en Quito a Prominentes Científicos e Investigadores Internacionales – Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Retrieved June 19, 2018, from <https://www.energia.gob.ec/redes-inteligentes-y-sostenibilidad-energetica-reuniran-en-quito-a-prominentes-cientificos-e-investigadores-internacionales/>
- Ministerio del Ambiente. (2013). Factor de Emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, 1–21.
- Miret, S. (2015). El auge de los inicios de Micro-Grid | BERC. Retrieved February 23, 2018, from <http://berc.berkeley.edu/the-rise-of-micro-grid-start-ups/>
- Mohd, A., Ortjohann, E., Schmelter, A., Hamsic, N., Morton, D., Westphalia, S., ... Ring, L. (2008). Challenges in integrating distributed Energy storage systems into future smart grid. *2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1627–1632. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2008.4676896>
- Morales-luna, G. (2002). Introducción a la lógica difusa, (November), 1–12.

- Retrieved from <http://casanchi.com/mat/intrologicadifusa01.pdf>
- Moya, R. (2013). ¿Que es la Computación Evolutiva? - Jarroba. Retrieved March 17, 2018, from <https://jarroba.com/computacion-evolutiva-ejemplo-con-un-algoritmo-genetico>
- Nordman, B. (2009). The Case “ Against ” the Smart Grid. *Building*. Retrieved from [www.fortnightly.com](http://www.fortnightly.com)
- Ochoa, G. (2003). Introducción a la Computación Evolutiva y la Morfogénesis Artificial. Retrieved from <http://www.cs.stir.ac.uk/~goc/papers/GOchoaIntroCompEv.pdf>
- Peralta Sevilla, A. G., & Amaya Fernández, F. (2013). Evolución de las Redes Eléctricas hacia Smart Grid en Países de la Región Andina. *Revista Educación En Ingeniería*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.26507/REI.V8N15.285>
- Pérez Moreno, A. J., Vega Moreno, M. J., & Melian Batista, B. (2014). Introducción a la Computación Evolutiva, (November), 2–4.
- Ramirez, A., Barriga, A., Baturone, I., & Sanchez Solano, S. (2005). Capítulo 2 : Logica difusa Conceptos Fundamentales. *Libro Electrónico Sobre Lógica Difusa*, 35–59. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6887/04Rpp04de11.pdf>
- Restrepo, S. E., Pezoa, J. E., & Ovalle, D. A. (2014). An adaptive architecture for ambient intelligence based on meta-modeling, smart agents, and wireless sensor networks. *IEEE Latin America Transactions*, 12(8), 1508–1514. <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.7014521>
- Salas, R. (2004). Redes Neuronales Artificiales. Retrieved from [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37429671/Redes\\_Neuronales\\_Artificiales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1521647967&Signature=o5lvRAInfeptSz%2B9MNNPvh16Uio%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DRedes\\_Neuronales](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37429671/Redes_Neuronales_Artificiales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1521647967&Signature=o5lvRAInfeptSz%2B9MNNPvh16Uio%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DRedes_Neuronales)
- Secretaría de Energía. (2016). Programa de Redes Eléctricas Inteligentes, 53. Retrieved from <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-redes-electricas-inteligentesEdmundoGil.pdf>
- Sibanda, W., & Pretorius, P. (2012). Artificial Neural Networks-A Review of

- Applications of Neural Networks in the Modeling of HIV Epidemic. *International Journal of Computer Applications*, 44(April), 975–8887. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/581f/83f4393794999a7331a5297c424e22d4dc85.pdf>
- Tablada, C. J., & Torres, G. A. (2009). Redes Neuronales Artificiales. *Revista de Educación Matemática*, 24(3). Retrieved from <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/REM/article/view/10280/10979>
- Titterington, M. (2010). Neural networks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. <https://doi.org/10.1002/wics.50>
- Venayagamoorthy, G. K. (2009). Potentials and Promises of Computational Intelligence for Smart Grids. *2009 IEEE Power and Energy Society General Meeting, PES '09*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275224>
- Verschueren, T., Haerick, W., Mets, K., Develder, C., De Turck, F., & Pollet, T. (2010). Architectures for smart end-user services in the power grid. *2010 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium Workshops, NOMS 2010*, 316–322. <https://doi.org/10.1109/NOMSW.2010.5486557>
- Víctor, A. :, & Buitrago, S. (2012). Simulador de las redes de base radial. Retrieved from [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16018/Memoria\\_TFG\\_Victor\\_Serrano\\_Buitrago.pdf;jsessionid=9F2EAA48CD4F9E7346727581CFEB44FC?sequence=3](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16018/Memoria_TFG_Victor_Serrano_Buitrago.pdf;jsessionid=9F2EAA48CD4F9E7346727581CFEB44FC?sequence=3)
- Villada, F., Cadavid, D. R., & Molina, J. D. (2008). Pronóstico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales Electricity price forecasting using artificial neural networks, 111–118.
- Zima, M., Larsson, M., & Korba, P. (2005). Design Aspects for Wide-Area Monitoring and control systems. *Proceedings of the IEEE*, 93(5), 980–996. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.846336>



# Glosario.

---

<b>Planta de Cogeneración</b>	Es la producción simultánea de varios tipos de energía. Normalmente las energías generadas son electricidad, mecánica, calor y frío.
<b>Arduino</b>	Es una herramienta electrónica de código abierto, basada en hardware, software flexible y fácil de usar.
<b>Estimador de Parzen</b>	El estimador de Parzen tiene como objetivo, obtener estimaciones de densidades de probabilidad condicional, las cuales se realizan sin tener mucho conocimiento de la misma.
<b>Distancia de Hamming</b>	Mide el número mínimo de sustituciones necesarias para cambiar una cadena por la otra, o el número mínimo de errores que podrían haber transformado una cadena en la otra.
<b>Equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e)</b>	Es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre dado a la totalidad de la emisión de Gases de Efecto Invernadero.



# Anexos.

## Anexo 1. Características de la Batería.

### Características de la Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA

La **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es por definición una batería de litio desarrollada específicamente para ser compatible con SMA, permitiendo que la batería sea más versátil y se adapte a aquellas instalaciones que requieran de una SMA.

La **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** cuenta con una capacidad útil de 6,6 kWh, siendo la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** en una batería intermedia respecto a la capacidad útil de la línea LG Chem.

La **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** cuenta con 6.000 MPP, además, la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** trabaja a un voltaje entre 350-450V.

La energía total, de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 7,0 kWh, y la energía utilizable de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 6,6 kWh.

Respecto a la capacidad de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 63 Ah, y el rango de voltaje de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 350 – 450V, pues tanto la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** como el resto de baterías de la línea de LG Chem están dentro de este rango de voltaje.

La potencia máxima de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 3,5 kW, siendo la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** un tipo de batería de litio una potencia intermedia dentro de las baterías de LG Chem RESU.

Además, el pico de potencia de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 7,0 kW durante 10 segundos.

El acople del sistema de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de SMA, SB Storage 2.5 y Solaredge.

El peso de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es de 76 kg.

Las dimensiones de la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** son de 744x692x206 mm (HxAxP).

La **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** es adecuada para un consumo anual de 2.000 kWh – 15.000kWh.

### Instalación de la Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA

Aunque las baterías de litio de LG Chem no tienen un peso especialmente alto en comparación con otro tipo de baterías de litio de otros fabricantes, en AutoSolar puede adquirir la **Batería Litio LG Chem Resu 7H para SMA** e instalarlas por su cuenta, o bien, contar con nuestro equipo de instaladores profesionales que le pueden instalar la batería donde desee en cualquier punto de la Península.

## RESU 400V

**Novedad**



### BATERÍA DE IÓN-LITIO CON CÉLULAS POLIMÉRICAS

Presenta una profundidad máxima de descarga superior al 90%. Necesario instalación en recinto interior. Garantía de 10 años. Más de 6000 ciclos (90%DOD).

Modelo	Energía Total	Energía Útil	Capacidad	Peso
RESU 7H	7.0 kWh	6.6 kWh	63 Ah	76.0 kg
RESU 10H	9.8 kWh	9.3 kWh	63 Ah	97-99.8 kg

**Interface con inversor:** CAN 2.0 B

## Anexo 2. Programación de la Mascarilla de la Red Eléctrica Inteligente.

```
classdef RedInteligente < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        RedElctricaInteligenteUIFigure    matlab.ui.Figure
        FactordePotenciaEditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
        FactordePotenciaEditField         matlab.ui.control.NumericEditField
        EProvenientedelaredEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        EProvenientedelaredEditField      matlab.ui.control.NumericEditField
        EProvenientedePVEditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
        EProvenientedePVEditField        matlab.ui.control.NumericEditField
        EAlmacenadaEditFieldLabel         matlab.ui.control.Label
        EAlmacenadaEditField              matlab.ui.control.NumericEditField
        TransformadorGauge                 matlab.ui.control.SemicircularGauge
        BateraGauge                       matlab.ui.control.SemicircularGauge
        TextArea_3                         matlab.ui.control.TextArea
        conmutadorSwitch                   matlab.ui.control.ToggleSwitch
        TransformadorLabel                  matlab.ui.control.Label
        BateraLabel                        matlab.ui.control.Label
        ResultadoLabel                     matlab.ui.control.Label
        UsteddebeLabel                     matlab.ui.control.Label
        TiempodeActualizacinSLabel         matlab.ui.control.Label
        Label                               matlab.ui.control.Label
        EditField                           matlab.ui.control.NumericEditField
    end
    properties (Access = private)
        in; % Input of Neural Network
        out; %Output Input of Neural Network
        net; %Neural Network
        P;
        result;
        t;
    end
    methods (Access = private)

        function ExecuteNetwork(app)
            load('p.mat', 'p');
            app.P = p;
            app.FactordePotenciaEditField.Value = double(app.P(1));
            app.EProvenientedelaredEditField.Value = app.P(2);
            app.EProvenientedePVEditField.Value = app.P(3);
            app.EAlmacenadaEditField.Value = app.P(4);
            app.result = sim(app.net,app.P);
            if(app.result >= 0.8)
                app.conmutadorSwitch.Value = app.conmutadorSwitch.Items(2);
                app.TransformadorGauge.Value =app.result;
                app.BateraGauge.Value = 0;
                app.TransformadorLabel.FontColor =[0 0.8 0];
                app.BateraLabel.FontColor =[1 0 0];
            end
        end
    end
end
```

```

        app.UsteddebeLabel.Text = 'Conectar Transformador'
+string(newline) + 'y Desconectar Batería.';
    else

        app.conmutadorSwitch.Value = app.conmutadorSwitch.Items(1);
        app.TransformadorGauge.Value =0;
        app.BateraGauge.Value = app.result;
        app.TransformadorLabel.FontColor =[1 0 0];
        app.BateraLabel.FontColor =[0 1 0];
        app.UsteddebeLabel.Text = 'Conectar Batería'
+string(newline) + 'y Desconectar Transformador.';

    end
    app.ResultadoLabel.Text = 'Resultado: ' + string(app.result);

end

end
methods (Access = private)
% Code that executes after component creation
function startupFcn(app)
    app.in = [0 1;0 1;0 1;0 1]; % Input of Neural Network
    app.out = [0 1]; %Output Input of Neural Network
    app.net = newrbe(app.in,app.out);
    app.result = 0;
    app.t = timer;
    app.t.executionMode = 'fixedRate';
    %set(app.t,'executionMode','fixedRate');
    app.t.period = 10;
    app.t.TasksToExecute = 4320;
    %set(app.t,'period',1);
    app.t.TimerFcn = @(x,y)(ExecuteNetwork(app));
    %set(app.t,'TimerFcn','ExecuteNetwork(app)');
    %app.t.start();
    start(app.t);
    %ExecuteNetwork(app);
end
% Value changed function: EditField
function EditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.EditField.Value;
    stop(app.t);
    app.t.period = value;
    start(app.t);
end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
    % Create RedElctricaInteligenteUIFigure
    app.RedElctricaInteligenteUIFigure = uifigure;
    app.RedElctricaInteligenteUIFigure.Position = [100 100 653 512];
    app.RedElctricaInteligenteUIFigure.Name = 'Red Eléctrica
Inteligente';

```

```

        app.RedElctricaInteligenteUIFigure.Resize = 'off';
        % Create FactordePotenciaEditFieldLabel

Anexo 4
    app.FactordePotenciaEditFieldLabel =
    uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.FactordePotenciaEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.FactordePotenciaEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'top';
        app.FactordePotenciaEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
        app.FactordePotenciaEditFieldLabel.Position = [51 360 112 15];
        app.FactordePotenciaEditFieldLabel.Text = 'Factor de Potencia';
        % Create FactordePotenciaEditField
        app.FactordePotenciaEditField =
    uieditfield(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'numeric');
        app.FactordePotenciaEditField.Limits = [0 1];
        app.FactordePotenciaEditField.BackgroundColor = [0.651 0.651
0.651];
        app.FactordePotenciaEditField.Position = [190 356 77 22];
        app.FactordePotenciaEditField.Value = 0.9324;
        % Create EProvenientedelaredEditFieldLabel
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel =
    uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'top';
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel.Position = [20 301 142
22];
        app.EProvenientedelaredEditFieldLabel.Text = 'E. Proveniente de
la red';
        % Create EProvenientedelaredEditField
        app.EProvenientedelaredEditField =
    uieditfield(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'numeric');
        app.EProvenientedelaredEditField.Limits = [0 1];
        app.EProvenientedelaredEditField.FontWeight = 'bold';
        app.EProvenientedelaredEditField.BackgroundColor = [0.302 0.749
0.9294];
        app.EProvenientedelaredEditField.Position = [190 304 77 22];
        app.EProvenientedelaredEditField.Value = 0.9205;
        % Create EProvenientedePVEditFieldLabel
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel =
    uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'top';
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel.Position = [36 254 126 22];
        app.EProvenientedePVEditFieldLabel.Text = 'E. Proveniente de
PV';
        % Create EProvenientedePVEditField
        app.EProvenientedePVEditField =
    uieditfield(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'numeric');
        app.EProvenientedePVEditField.Limits = [0 1];

```

```

app.EProvenientedePVEditField.FontWeight = 'bold';
app.EProvenientedePVEditField.BackgroundColor = [0.9294 0.6902
0.1294];
    Anexo 5

app.EProvenientedePVEditField.Position = [190 254 77 22];
app.EProvenientedePVEditField.Value = 0.9318;
% Create EAlmacenadaEditFieldLabel
app.EAlmacenadaEditFieldLabel =
uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
app.EAlmacenadaEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.EAlmacenadaEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'top';
app.EAlmacenadaEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
app.EAlmacenadaEditFieldLabel.Position = [37 195 126 22];
app.EAlmacenadaEditFieldLabel.Text = 'E. Almacenada';
% Create EAlmacenadaEditField
app.EAlmacenadaEditField =
uieditfield(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'numeric');
app.EAlmacenadaEditField.Limits = [0 1];
app.EAlmacenadaEditField.FontWeight = 'bold';
app.EAlmacenadaEditField.BackgroundColor = [0.4706 0.6706
0.1882];

app.EAlmacenadaEditField.Position = [190 197 77 22];
app.EAlmacenadaEditField.Value = 0.9305;
% Create TransformadorGauge
app.TransformadorGauge =
uigauge(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'semicircular');
app.TransformadorGauge.Limits = [0 1];
app.TransformadorGauge.FontWeight = 'bold';
app.TransformadorGauge.FontColor = [0 0 1];
app.TransformadorGauge.Position = [418 272 120 65];
% Create BateraGauge
app.BateraGauge = uigauge(app.RedElctricaInteligenteUIFigure,
'semicircular');
app.BateraGauge.Limits = [0 1];
app.BateraGauge.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.BateraGauge.FontWeight = 'bold';
app.BateraGauge.FontColor = [0 0 1];
app.BateraGauge.Position = [418 29 120 65];
% Create TextArea_3
app.TextArea_3 = uitextarea(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
app.TextArea_3.HorizontalAlignment = 'center';
app.TextArea_3.FontSize = 14;
app.TextArea_3.FontWeight = 'bold';
app.TextArea_3.BackgroundColor = [1 1 0];
app.TextArea_3.Position = [87 409 479 89];
app.TextArea_3.Value = { '          Red Eléctrica Inteligente  ' ;
''; ' Edificio 3'; ''; 'Universidad Técnica de Manabí'};
% Create conmutadorSwitch
app.conmutadorSwitch =
uiswitch(app.RedElctricaInteligenteUIFigure, 'toggle');
app.conmutadorSwitch.Items = {'Conectar Batería', 'Conectar
Transformador'};
app.conmutadorSwitch.FontSize = 14;

```

```

        app.conmutadorSwitch.FontWeight = 'bold';
        app.conmutadorSwitch.FontColor = [0.6392 0.0784 0.1804];
        app.conmutadorSwitch.Position = [468 157 20 45];
    Anexo 6
    app.conmutadorSwitch.Value = 'Conectar Batería';
        % Create TransformadorLabel
        app.TransformadorLabel =
uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.TransformadorLabel.HorizontalAlignment = 'center';
        app.TransformadorLabel.FontWeight = 'bold';
        app.TransformadorLabel.FontColor = [1 0 0];
        app.TransformadorLabel.Position = [433 237 90 22];
        app.TransformadorLabel.Text = 'Transformador';
        % Create BateraLabel
        app.BateraLabel = uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.BateraLabel.HorizontalAlignment = 'center';
        app.BateraLabel.FontWeight = 'bold';
        app.BateraLabel.FontColor = [0 0.8 0];
        app.BateraLabel.Position = [455 104 46 22];
        app.BateraLabel.Text = 'Batería';
        % Create ResultadoLabel
        app.ResultadoLabel =
uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.ResultadoLabel.FontWeight = 'bold';
        app.ResultadoLabel.Position = [51 133 292 22];
        app.ResultadoLabel.Text = 'Resultado: ';
        % Create UsteddebeLabel
        app.UsteddebeLabel =
uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.UsteddebeLabel.FontWeight = 'bold';
        app.UsteddebeLabel.Position = [51 79 358 27];
        app.UsteddebeLabel.Text = 'Usted debe';
        % Create TiempodeActualizacinSLabel
        app.TiempodeActualizacinSLabel =
uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.TiempodeActualizacinSLabel.FontWeight = 'bold';
        app.TiempodeActualizacinSLabel.Position = [356 353 165 22];
        app.TiempodeActualizacinSLabel.Text = 'Tiempo de Actualización
(S)';
        % Create Label
        app.Label = uilabel(app.RedElctricaInteligenteUIFigure);
        app.Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.Label.Position = [520 353 25 22];
        app.Label.Text = '';
        % Create EditField
        app.EditField = uieditfield(app.RedElctricaInteligenteUIFigure,
'numeric');
        app.EditField.Limits = [0 3600];
        app.EditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@EditFieldValueChanged, true);
        app.EditField.Position = [520 353 62 22];
        app.EditField.Value = 600;
    end
end

```

```

methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = RedInteligente
        Anexo 7

    % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.RedElctricaInteligenteUIFigure)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @startupFcn)
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)
        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.RedElctricaInteligenteUIFigure)
    end
end
end
end

```

## Anexo 3. Pliego Tarifario.



Agencia de  
Regulación y Control  
de Electricidad

PERIODO: **ENERO - DICIEMBRE \***

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

**CNEL EL ORO-CNEL ESMERALDAS-CNEL GUAYAS LOS RÍOS-CNEL LOS RÍOS-CNEL MANABÍ-CNEL MILAGRO-CNEL SANTA ELENA-CNEL SANTO DOMINGO-CNEL SUCUMBIÓS-GALÁPAGOS**


**CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS**

**JUNIO - NOVIEMBRE \*\***

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/W-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL TENSIÓN</b>	<b>GENERAL MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA</b>			
	<b>COMERCIALES</b>			
	4,790	0,095	1,414	
	<b>INDUSTRIALES</b>			
	4,790	0,083		
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>			
	4,790	0,071		
	<b>BOMBEO AGUA</b>			
	4,790	0,061		
<b>NIVEL TENSIÓN</b>	<b>MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA</b>			
	<b>COMERCIALES</b>			
07h00 hasta 22h00	4,576	0,095	1,414	
22h00 hasta 07h00		0,077		
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>			
07h00 hasta 22h00	4,576	0,071		
22h00 hasta 07h00		0,059		
	<b>BOMBEO AGUA</b>			
07h00 hasta 22h00	4,576	0,061		
22h00 hasta 07h00		0,049		
<b>NIVEL TENSIÓN</b>	<b>MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>			
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>			
L-V 08h00 hasta 18h00	2,620	0,043	1,414	
L-V 18h00 hasta 22h00		0,073		
L-V 22h00 hasta 08h00***		0,034		
S,D 18h00 hasta 22h00		0,043		
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA</b>			
L-V: 08h00 hasta 18h00	4,050	0,069		
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,086		
L-D: 22h00 hasta 08h00		0,043		
SyD: 08h00 hasta 18h00				

# Anexo 4. Ejemplo de facturación energética en Ecuador.

Factura No. 093-999-000106814  
 N° Autorización: 100420180109685990200120518990001068  
 Ambiente: PRODUCCION  
 Emisión: EMISION NORMAL  
 Fecha y Hora de Autorización: 1004/2018 15:52:28  
**Fecha de Emisión:** 2018-04-10

  
 No. de Control: 901383207-12  
 Valor a pagar: 1,041.38  
**Fecha de Vencimiento:** INMEDIATO

NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO  
 Nombre: AGRICOLA AGRICULTORES GLOBALES S.A  
 Dirección servicio: KM 5 VIA LIMONCITO 1.1 JUNTAS  
 Fecha de Emisión: 2018-04-10  
**CONCEPTO:**  
**TOTAL TRIBUTO CUERPO DE BOMBAS:**

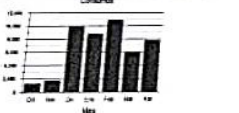
**INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR**

**SUMINISTRO:** AGRICOLA AGRICULTORES GLOBALES S.A  
 Código Único Electrónico Nacional: 1605033852 Cédula / R.U.C.: 0992880007001 Código Postal:  
 Dirección servicio: KM 5 VIA LIMONCITO 1.1 JUNTAS  
 Plan/Geocódigo: 95 98-25-001-0140 Tarifa: 306-B.Aguá Dem Registrador (Meda Tension) 2018-04-10 1  
 Provincia - Canton - Parroquia: SANTA ELENA - SANTA ELENA - JULIO MORENO  
 Dirección notificación: Domicilio  
 Ejecutivo de cuenta: MAIRA YADIRA CRESPIN GRANADOS Telfs 043712628 ext. e\_mail

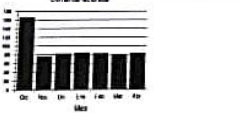
**FACTURACION SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

Medidor: 20037296-ELS-T Desde: 2018-03-03 Hasta: 2018-04-03 Dias Facturados: 31 Tipo consumo: Leído Constante: 1.00  
 Factor multiplicación: 210.00 Factor Corrección: 1.00 Factor Potencia: 0.71 Penalización Fp: 0.30

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 20kV-24kV (L2)	218.81	16.00	7731	kWh	471.59
Demanda 20kV-24kV (L2)	200.81	168.00	7731	kVAh	392.78
Demanda 20kV-24kV (L2)	0.39		82	kW	0.00
Agua	82		82	kWh	0.00
Demanda 20kV-24kV (L2)			82	kW	0.00



Consumo



Demanda

**SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

<b>VALOR CONSUMO:</b>	<b>471.59</b>
<b>DEMANDA:</b>	<b>392.78</b>
<b>PENAL.BAJO FACT.POTE:</b>	<b>256.08</b>
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A.(0%)	0.00
<b>SERVICIO ELÉCTRICO (1.1):</b>	<b>1,121.86</b>
ALUMBRADO PÚBLICO	224.37
<b>ALUMBRADO PÚBLICO (1.2):</b>	<b>224.37</b>
<b>OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO</b>	
INTERES MORA	6.30
<b>OTROS (1.3):</b>	<b>6.30</b>
<b>TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3):</b>	<b>1,352.53</b>

**VALORES PENDIENTES**


CONCEPTO	VALOR
SALDO ANTERIOR (1 FACTURAS)	1,464.40
<b>VALORES PENDIENTES :</b>	<b>1,464.40</b>

**FORMA DE PAGO**

EFFECTIVO	DINERO ELECTRÓNICO	TARJETA DE CRÉDITO/ DÉBITO	OTROS
			1,352.53

**SUBSIDIOS DEL GOBIERNO**

Tarifa Eléctrica	0.00
<b>TOTAL:</b>	<b>0.00</b>



EL GOBIERNO  
**SUBSIDIA**  
ESTE SERVICIO

**a: 2018-04-03 Dias Facturados: 31 Tipo consumo: Leído Constante: 1.00**  
**: 1.00 Factor Potencia: 0.71 Penalización Fp: 0.30**

Consumo	Unid.	Valores
7731	kWh	471.59
7731	kVAh	392.78
82	kW	0.00
82	kWh	0.00
82	kW	0.00

**SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

<b>VALOR CONSUMO:</b>	<b>471.59</b>
<b>DEMANDA:</b>	<b>392.78</b>
<b>PENAL.BAJO FACT.POTE:</b>	<b>256.08</b>
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A.(0%)	0.00
<b>SERVICIO ELÉCTRICO (1.1):</b>	<b>1,121.86</b>
ALUMBRADO PÚBLICO	224.37
<b>ALUMBRADO PÚBLICO (1.2):</b>	<b>224.37</b>
<b>OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO</b>	
INTERES MORA	6.30
<b>OTROS (1.3):</b>	<b>6.30</b>

## Anexo 5. Factor de Emisión.

**Tabla 6. Resultados año 2012**

Parámetros		Unidad
$\lambda_{2012}$	0.0029	
$\sum_m EG_{m,2012} \cdot EF_{EL,m,2012}$	4,891,623.749	[t CO <sub>2</sub> ]
$\sum_m EG_{m,2012}$	6,861,775.619	[MWh]
$\sum_k EG_{k,2012} \cdot EF_{EL,k,2012}$	0.000	[t CO <sub>2</sub> ]
$\sum_k EG_{k,2012}$	12,457,971.669	[MWh]
$EF_{grid,OM-adj,2012}$	0.7108	[t CO <sub>2</sub> /MWh]

La Tabla 7 muestra un resumen de los resultados obtenidos en los años 2010, 2011, 2012 del Factor de Emisión de Margen de Operación y generación anual (GWh):

**Tabla 7. Factor de Emisión OM años 2010 - 2012**

	2010	2011	2012
$EF_{grid,OM-adj,2012}$ (t CO <sub>2</sub> /MWh)	0.7482	0.6671	0.71078

	2010	2011	2012	Total
Generación anual (GWh)	17330.34	18439.71	19319.75	55089.5
Ponderación	31,55%	33,5%	35,1%	

$$EF_{grid,OM-adj} = 0,7079 \text{ (t CO}_2\text{/MWh)}$$


---