



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO EN EL LABORATORIO  
DE INDUSTRIA 4.0 Y ROBÓTICA DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA PARA LA PREDICCIÓN DEL  
FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE TÉCNICAS DE MACHINE  
LEARNING**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTOR:**

Esdras Salomón Enríquez López

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO EN EL LABORATORIO  
DE INDUSTRIA 4.0 Y ROBÓTICA DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA PARA LA PREDICCIÓN DEL  
FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE TÉCNICAS DE MACHINE  
LEARNING**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO ELECTRÓNICA Y ATOMIZACIÓN**

**AUTOR:** Esdras Salomón Enríquez López

**DIRECTOR:** Ing. Diego Ramiro Ñacato Estrella

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Esdras Salomón Enríquez López

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

Yo, Esdras Salomón Enríquez López, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de noviembre de 2023.



**Esdras Salomón Enríquez López**  
**1805202551**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO EN EL LABORATORIO DE INDUSTRIA 4.0 Y ROBÓTICA DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA PARA LA PREDICCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING.**, realizado por el señor: **ESDRAS SALOMÓN ENRÍQUEZ LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Paul Patricio Romero Riera <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		10-11-2023
Ing. Diego Ramiro Ñacato Estrella <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		10-11-2023
Ing. Ramiro Fernando Isa Jara PHD <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		10-11-2023

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mi madre Gladys por ser parte fundamental en mi vida, por la ayuda que me brindo durante toda mi carrera universitaria, estaré eternamente agradecido por todo el apoyo y motivación para culminar con esta etapa de mi vida.

Esdras

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi agradecimiento a mi madre por todo el cariño y apoyo, también a los ingenieros que fueron parte de mi formación académica y profesional en especial al Ing. Ramiro Isa quien fue parte fundamental para el desarrollo de este proyecto por su ayuda y sugerencias. También quiero agradecer a la ESPOCH por darme la oportunidad de formarme como profesional y adquirir los conocimientos necesarios para el futuro.

Esdras

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVI
RESUMEN.....	II
ABSTRACT .....	II
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1</b>	<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>2</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Antecedentes .....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Formulación del problema.....</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3</i>	<i>Sistematización del problema.....</i>	<i>3</i>
<b>1.2</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>3</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Justificación teórica .....</i>	<i>4</i>
<b>1.3</b>	<b>Justificación aplicativa.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>

### CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>7</b>
-----------	----------------------------	----------

<b>2.1</b>	<b>Análisis Energético.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Consumo de Energía Eléctrica.....</b>	<b>7</b>
2.1.1.1	Niveles de Voltaje.....	9
2.1.1.2	Tarifa Residencial.....	9
2.1.1.3	Tarifa Comercial.....	10
2.1.1.4	Tarifa Industrial.....	11
<b>2.1.2</b>	<b>Factor de potencia.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Corrección del factor de potencia.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Medidores de energía.....</b>	<b>14</b>
2.1.4.1	SentronPAC SIEMENS.....	14
2.1.4.2	M4M-20 ABB.....	15
2.1.4.3	Analizador de carga 1770 Fluke.....	16
<b>2.1.5</b>	<b>Sensores de corriente.....</b>	<b>18</b>
2.1.5.1	Transformadores de Corriente.....	18
2.1.5.2	Bobinas Rogowski.....	18
<b>2.2</b>	<b>Machine Learning.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Clasificación del Machine Learning.....</b>	<b>19</b>
2.2.1.1	Aprendizaje Supervisado.....	20
2.2.1.2	Aprendizaje No Supervisado.....	20
2.2.1.3	Aprendizaje por Refuerzo.....	20
<b>2.2.2</b>	<b>Modelos de algoritmos de Aprendizaje Supervisado.....</b>	<b>20</b>
2.2.2.1	Modelos Lineales.....	20
2.2.2.1.1	Regresión Lineal.....	21
2.2.2.1.2	Recesión Lineal múltiple.....	22
2.2.2.1.3	Regresión Polinomial.....	23
2.2.2.2	Arboles de Regresión.....	23
2.2.2.2.1	Random Forest.....	24
2.2.2.3	Redes Neuronales.....	25
2.2.2.3.1	Redes Neuronales Monocapa.....	26

2.2.2.3.2	<i>Redes Neuronales Multicapa</i> .....	26
2.2.3	<b><i>Técnicas de Machine Learning</i></b> .....	27
2.3	<b>Internet de las Cosas</b> .....	28
2.3.1	<b><i>DataSets</i></b> .....	29
2.3.2	<b><i>Pasarela IoT</i></b> .....	29
2.3.2.1	<i>Simatic IoT2000</i> .....	29
2.3.2.2	<i>Raspberry Pi 4</i> .....	30
2.3.2.3	<i>ESP3286</i> .....	30
2.3.3	<b><i>Protocolo de comunicación Modbus TCP/IP</i></b> .....	31
2.3.4	<b><i>Plataformas IoT web</i></b> .....	32
2.3.4.1	<i>Node-Red</i> .....	32
2.3.4.2	<i>ThingSpeak</i> .....	33
2.3.5	<b><i>Lenguajes Programación</i></b> .....	34
2.3.5.1	<i>Python</i> .....	34
2.3.5.2	<i>MATLAB</i> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLOGICO</b> .....	35
3.1	<b>Tipo de Investigación</b> .....	36
3.2	<b>Variables de procesamiento</b> .....	36
3.3	<b>Población y Muestra</b> .....	36
3.4	<b>Arquitectura del sistema</b> .....	36
3.5	<b>Requerimientos del sistema</b> .....	38
3.6	<b>Línea de alimentación</b> .....	38
3.6.1	<b><i>Tablero Principal</i></b> .....	40
3.7	<b>Selección del Medidor de Energía</b> .....	42
3.7.1	<b><i>Elementos de Indicación</i></b> .....	42

<b>3.7.2</b>	<b><i>Configuración de dispositivo</i></b> .....	<b>43</b>
3.7.2.1	<i>Selección de Idioma</i> .....	43
3.7.2.2	<i>Establecer fecha y hora</i> .....	44
3.7.2.3	<i>Dirección IP</i> .....	44
<b>3.7.3</b>	<b><i>Medición de voltaje y corriente</i></b> .....	<b>45</b>
<b>3.7.4</b>	<b><i>Plataforma web</i></b> .....	<b>47</b>
<b>3.8</b>	<b>Adquisición de datos</b> .....	<b>48</b>
<b>3.8.1</b>	<b><i>Raspberry PI 4 como pasarela IoT</i></b> .....	<b>48</b>
3.8.1.1	<i>Instalación de Node-Red</i> .....	48
3.8.1.2	<i>Programación en Node-Red</i> .....	49
3.8.1.3	<i>Bloques de función</i> .....	51
3.8.1.4	<i>Envío de datos a la nube</i> .....	53
<b>3.9</b>	<b>Etapa Preparación y Procesamiento de datos</b> .....	<b>54</b>
<b>3.10</b>	<b>Gestión de interfaces web</b> .....	<b>55</b>
<b>3.11</b>	<b>Aplicación de algoritmos de machine learning</b> .....	<b>57</b>
3.11.1	<i>Red Neuronal</i> .....	58
3.11.2	<i>Regresión Lineal múltiple</i> .....	60
3.11.3	<i>Bosque Aleatorio</i> .....	62

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANALISIS E INTERPRETRACION DE RESULTADOS</b> .....	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Validación de datos</b> .....	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Evaluación del consumo de energía y factor de potencia.</b> .....	<b>66</b>
<b>4.3</b>	<b>Validación de los modelos de predicción</b> .....	<b>68</b>
<b>4.4</b>	<b>Prueba de Funcionamiento en línea.</b> .....	<b>70</b>
<b>4.5</b>	<b>Optimización del algoritmo</b> .....	<b>71</b>
4.5.1	<i>Nuevo Modelo sin voltaje</i> .....	71

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>73</b>

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2.</b> Niveles de Voltaje en el punto de entrega del consumidor.....	9
<b>Tabla 2-2.</b> Cargo de la tarifa residencial .....	10
<b>Tabla 3-2.</b> Cargo de la tarifa comercial.....	11
<b>Tabla 4-2.</b> Cargo de la tarifa industrial .....	11
<b>Tabla 5-2.</b> Características de los medidores de Energía.....	17
<b>Tabla 6-2.</b> Modelo de datos Modbus.....	32
<b>Tabla 1-3.</b> Acometida eléctrica ESPOCH .....	39
<b>Tabla 2-3.</b> Características del Transformador trifásico Padmounted. ....	40
<b>Tabla 3-3.</b> Circuitos del tablero eléctrico principal.....	41
<b>Tabla 4-3.</b> Configuración del Nodo Modbus Flex Getter .....	51
<b>Tabla 5-3.</b> Parámetros de programación del Nodo Function.....	52
<b>Tabla 6-3.</b> Direcciones Modbus para el código de función 0x003.....	52
<b>Tabla 7-3.</b> Error de Entrenamiento de la red Neuronal. ....	59
<b>Tabla 8-3.</b> Correlación de la variables independientes y dependiente. ....	61
<b>Tabla 9-3.</b> Puntuación del modelo de RLM .....	62
<b>Tabla 10-3.</b> Características del modelo de Bosque aleatorio .....	63
<b>Tabla 11-3.</b> Puntuación del modelo de RLM.....	63
<b>Tabla 1-4.</b> Potencia y Corriente máxima registrada.....	66
<b>Tabla 2-4.</b> Error cuadrático medio de los algoritmos de predicción .....	68
<b>Tabla 2-4.</b> Coeficiente de determinación $R^2$ .....	69
<b>Tabla 4-3.</b> Correlación de magnitudes eléctricas .....	71
<b>Tabla 4-4.</b> Generación de Nuevos modelos .....	72

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1-1.</b> Diagrama General del proceso de adquisición y procesamiento de información.....	5
<b>Figura 2-1.</b> Representación General del sistema de medición y adquisición de datos.....	6
<b>Figura 1-2.</b> Fuentes de Generación de Energía Eléctrica.....	8
<b>Figura 2-2.</b> Consumo de energía eléctrica distribuido por sector.....	8
<b>Figura 3-2.</b> Curvas de la demanda de energía eléctrica para cada sector.....	9
<b>Figura 4-2.</b> Triangulo de potencia.....	12
<b>Figura 5-2.</b> Medidor de Energía SENTRON PAC3220.....	15
<b>Figura 6-2.</b> Analizador de red M4M-20.....	16
<b>Figura 7-2.</b> Analizador de eléctrica serie 1770.....	17
<b>Figura 8-2.</b> Transformado de corriente de Núcleo cerrado.....	18
<b>Figura 9-2.</b> Transformadores de Corriente Rogowski Coils.....	19
<b>Figura 10-2.</b> Modelo de regresión lineal.....	22
<b>Figura 11-2.</b> Ejemplo de representación Polinomial.....	23
<b>Figura 12-2.</b> Esquema de un árbol de decisión y un bosque aleatorio.....	25
<b>Figura 13-2.</b> Esquema de una red neuronal biológica y una artificial.....	26
<b>Figura 14-2.</b> Esquema de red neuronal monocapa.....	26
<b>Figura 15-2.</b> Esquema de red neuronal multicapa.....	27
<b>Figura 16-2.</b> Arquitectura de una red IoT.....	28
<b>Figura 17-2.</b> Pasarela IoT Simatic IoT2000.....	30
<b>Figura 18-2.</b> Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4.....	30
<b>Figura 19-2.</b> Tarjeta de desarrollo esp3286.....	31
<b>Figura 20-2.</b> Transmisión de datos Modbus.....	31
<b>Figura 21-2.</b> Tamaño del mensaje Modbus.....	32
<b>Figura 22-2.</b> Plataforma de desarrollo Node-Red.....	33
<b>Figura 23-2.</b> Plataforma ThingSpeak de Matlab.....	34
<b>Figura 24-2.</b> Toolbox de Matlab Statistics and Machine Learning.....	35
<b>Figura 1-3.</b> Mapa de proceso para predecir el factor de potencia.....	37
<b>Figura 2-3.</b> Arquitectura del sistema.....	38
<b>Figura 3-3.</b> Referencia Geográfica de la línea de la alimentación ESPOCH.....	39
<b>Figura 4-3.</b> Referencia geográfica del transformador trifásico Padmounted.....	40
<b>Figura 5-3.</b> Tablero eléctrico principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica.....	41
<b>Figura 6-3.</b> Instalación del Medidor de Energía SENTRON PAC3220.....	42
<b>Figura 7-3.</b> Pantalla Principal del Medidor de Energía SentronPAC3220.....	43

<b>Figura 8-3.</b> Puesta en marcha del Medidor de Energía .....	44
<b>Figura 9-3.</b> Parámetros de fecha y hora del medidor de energía.....	44
<b>Figura 10-3.</b> Asignar una dirección IP al medidor de Energía.....	45
<b>Figura 11-3.</b> Esquema de conexión 3P4W para el medidor de energía. ....	46
<b>Figura 12-3.</b> Entradas de Tensión del Medidor de Energía. ....	46
<b>Figura 13-3.</b> Instalación de Transformadores de Corriente .....	47
<b>Figura 14-3.</b> Configuración de la entrada de corriente. ....	47
<b>Figura 15-3.</b> Plataforma web Medidor de energía SentronPAC3220. ....	48
<b>Figura 16-3.</b> Instalación de Node-red en la tarjeta Raspberry Pi 4. ....	49
<b>Figura 17-3.</b> Ejecutar Node-red en Raspberry Pi 4.....	49
<b>Figura 18-3.</b> Diagrama de flujo de proceso de adquisición de datos. ....	50
<b>Figura 19-3.</b> Programación en Node-Red. ....	51
<b>Figura 20-3.</b> Programación del nodo de Function.....	52
<b>Figura 21-3.</b> Programación del Nodo de Función Node-red.....	53
<b>Figura 22-3.</b> Programación de Nodo de Función; Enviar datos a ThingSpeak.....	54
<b>Figura 23-3.</b> Visualización de datos en ThingSpeak.....	54
<b>Figura 24-3.</b> Discretización del Dataset. ....	55
<b>Figura 25-3.</b> Desarrollo del Dashboard en Node-red .....	56
<b>Figura 26-3.</b> Ventaja Principal de la interfaz web.....	56
<b>Figura 27-3.</b> Ventana Secundaria valores medidor por línea.....	57
<b>Figura 28-3.</b> Valores máximos y mínimos de interfaz web. ....	57
<b>Figura 29-3.</b> Esquema de la red Neuronal.....	58
<b>Figura 30-3.</b> Dataset de entrenamiento y validación mediante K-fold. ....	58
<b>Figura 31-3.</b> Error de entrenamiento y Validación. ....	59
<b>Figura 32-3.</b> Datos de Validación de Red Neuronal. ....	60
<b>Figura 33-3.</b> Correlación lineal de las variables dependientes e independiente.....	60
<b>Figura 34-3.</b> Transformación de Variables. ....	61
<b>Figura 35-3.</b> Matriz de Coeficientes. ....	62
<b>Figura 32-3.</b> Datos de Validación algoritmo RLM. ....	62
<b>Figura 36-3.</b> Datos de Validación algoritmo RF.....	64
<b>Figura 1-4.</b> Validación de datos con equipo maestro. ....	65
<b>Figura 2-4.</b> Consumo de Energía diario. ....	66
<b>Figura 3-4.</b> a) Medición de potencia UPS encendido. b) Medición con el UPS apagado.....	67
<b>Figura 4-4.</b> Promedio de factor de potencia. ....	67
<b>Figura 5-4.</b> Predicción del factor de potencia. ....	68
<b>Figura 6-4.</b> Limites de prediccion. ....	69

<b>Figura 7-4.</b> Estimación de la densidad del Kernel KDE.....	70
<b>Figura 8-4.</b> Factor de Potencia real calculado.....	70
<b>Figura 9-4.</b> Magnitudes eléctricas medidas.....	71

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Pliego Tarifario del servicio público de energía eléctrica.

**Anexo B:** Datos Técnicos medidor de energía SentronPAC3220.

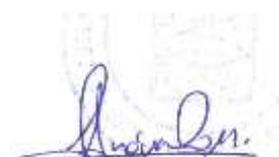
**Anexo C:** Direcciones modbus SentronPAC3220.

**Anexo D:** Algoritmos de predicción del factor de potencia.

## RESUMEN

El Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica no cuenta con dispositivos para medir y analizar la calidad de energía, así como otras magnitudes eléctricas fundamentales, por lo tanto, el presente trabajo de titulación tiene como objetivo analizar el consumo de energía en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica y predecir del factor de potencia aplicando técnicas de machine learning. El proceso metodológico del presente trabajo comprende la identificación de la línea de alimentación eléctrica del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica, la lectura de las magnitudes eléctricas fundamentales como: Voltaje, Corriente, Potencia y Factor de potencia, la adquisición y envío de datos a través de una pasarela IoT, la creación de una base de datos, la implementación de una interfaz HMI web para la supervisión y monitoreo de las variables eléctricas y la aplicación de algoritmos de predicción de factor de potencia. Con esta metodología se logró la integración de múltiples dispositivos que permitirán determinar los parámetros eléctricos fundamentales, conexión hacia la nube y brindar servicio de internet de las cosas (IoT), además se presenta una comparación de tres modelos basados en machine learning que permiten predecir el factor de potencia de manera eficiente. Mediante las pruebas realizadas a los algoritmos de predicción se determinó el error cuadrático medio, el puntaje, los límites de predicción y la estimación de la densidad del Kernel para cada algoritmo. En conclusión, se logró determinar el consumo de energía y las variaciones de potencia existentes en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica e implementar algoritmos que permitan predecir el factor de potencia de forma efectiva.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <ANÁLISIS ENERGÉTICO>, <ANÁLISIS DE DATOS>, <MACHINE LEARNING>, <FACTOR DE POTENCIA>, <ALGORITMOS DE PREDICCIÓN>



## ABSTRACT

The laboratory of Industry 4.0 and Robotics of the Faculty of Computing and Electronics does not have devices to measure and analyze the quality of energy, as well as other fundamental electrical magnitudes, therefore, the objective of this degree work is to analyze the consumption of energy in the Laboratory of Industry 4.0 and Robotics of the Faculty of Computing and Electronics and predict the power factor applying machine learning techniques. The methodological process of this work includes the identification of the power supply line of the Laboratory of Industry 4.0 and Robotics, the reading of the fundamental electrical magnitudes such as: Voltage, Current, Power and Power Factor, the acquisition and sending of data through an IoT gateway, the creation of a database, the implementation of a web HMI interface for supervision and monitoring of electrical variables and the application of power factor prediction algorithms. With this methodology, the integration of multiple devices was achieved that will allow determining the fundamental electrical parameters, connection to the cloud and providing Internet of Things (IoT) service, in addition, a comparison of three models based on machine learning that allow predicting the power factor efficiently is presented. Through the tests carried out on the prediction algorithms, the mean square error, the score, the prediction limits and the estimate of the Kernel density for each algorithm were determined. In conclusion, it was possible to determine the energy consumption and existing power variations in the Industry 4.0 and Robotics Laboratory and implement algorithms that allow to predict the power factor effectively.

**Keywords:** <ELECTRICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY> <ELECTRONIC ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ENERGY ANALYSIS>, <DATA ANALYSIS>, <MACHINE LEARNING>, <POWER FACTOR>, <PREDICTION ALGORITHMS>.



---

Lic. Nelly Padilla P. Mgs

0603818717

DOCENTE FIE

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad la implementación y comparación de algoritmos basados en machine learning para predecir el factor de potencia, así como un análisis de consumo energético en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica con la identificación de las magnitudes eléctricas fundamentales.

La implementación de algoritmos basados en machine learning para la predicción del factor de potencia permitirá optimizar el consumo de energía, reducir las penalizaciones por un bajo factor de potencia y brindar estabilidad a la red eléctrica al anticipar las variaciones del factor de potencia.

Mediante el análisis energético se pretende identificar el consumo de energía eléctrica, la potencia activa y reactiva, la variación de corriente, voltaje y factor de potencia en el tablero eléctrico del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica, así como las cargas que afectan el consumo de energía y producen un bajo factor de potencia.

Para el desarrollo de la investigación se han integrado múltiples dispositivos y plataformas como el medidor de energía digital, una Raspberry Pi 4 como pasarelas IoT, una base de datos en la nube y una interfaz HMI web para la supervisión de las magnitudes eléctricas del tablero eléctrico principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

#### 1.1.1 Antecedentes

La energía eléctrica ha sido fundamental para el desarrollo de la sociedad, uno de los objetivos de las Naciones Unidas es: “Garantizar el acceso a energía limpia y asequible, que es clave para el desarrollo de la educación, la salud, la industria y el transporte”, por lo que es de vital importancia contar con un análisis energético el cual es el primer paso para promover la eficiencia energética y reducir el consumo de energía (United Nations, 2022).

Un artículo publicado por Our World in Data en colaboración con la universidad de Oxford determina que el consumo de electricidad en América del Sur es de 6.877 TWh. En la mayoría de los países del mundo debido al incremento de población e industrialización ha producido un aumento de la demanda de energía, a la vez que no se compensa con mejoras en la eficiencia energética por lo que el consumo de energía seguirá creciendo cada año (Ritchie, y otros, 2022).

El artículo (Reinozo Ramírez, y otros, 2017 págs. 33-40), publicado en la “Revista Politécnica” expone un sistema de medición inteligente de energía eléctrica, agua y CO<sub>2</sub>. El sistema está constituido por medidores digitales de energía, controladores lógicos programables y switches, además se implementa una interfaz HMI con el objetivo de diagnosticar el nivel de eficiencia en el consumo de recursos, promover mayor productividad en la planta considerando que el consumo de energía eléctrica es significativo dentro del costo total de los procesos de producción

El estudio realizado por (Sarmiento Jadán, y otros, 2009) indica un análisis de la calidad de energía eléctrica y un estudio de la carga para determinar los parámetros como: Voltaje, corriente, armónicos, factor de potencia, sobre tensión y oscilaciones se encuentran dentro de los límites establecidos en la Regulación CONELEC - 004/01. Los resultados del análisis indican que se necesita mejorar y readecuar las instalaciones eléctricas además presenta una solución para corregir el factor de potencia basado en bancos de capacitores automáticos y filtros activos.

Implementar un algoritmo de predicción que permita una selección óptima del banco de compensación en una red industrial a partir de las demandas de reactivos que pueden existir en los diferentes nodos dando una respuesta a los valores a colocar en función de la demanda de reactivos que se tiene en toda la red garantizando que en el nodo principal de entrada exista un factor de potencia de acuerdo con la regulación de calidad de servicio eléctrico de distribución (Freire, y otros, 2019).

### ***1.1.2 Formulación del problema***

¿Se puede analizar el consumo energético en el laboratorio de industria 4.0 y robótica de la Facultad de Informática y Electrónica para la predicción del factor de potencia mediante técnicas de machine learning?

### ***1.1.3 Sistematización del problema***

- ¿Cuál es la situación actual de los algoritmos basados en machine learning?
- ¿Cuáles son los efectos en el consumo de energía al utilizar cargas que produce una caída en el factor de potencia?
- ¿De qué manera se puede determinar el consumo de energía, factor de potencia y otros parámetros eléctricos?
- ¿Qué algoritmos son utilizados para el análisis y predicción de información?
- ¿Como se puede monitorear y supervisar las variaciones del consumo de energía y factor de potencia?
- ¿Qué métodos permitirán validar y verificar el correcto funcionamiento del algoritmo de predicción?

## **1.2 Justificación**

### ***1.2.1 Justificación teórica***

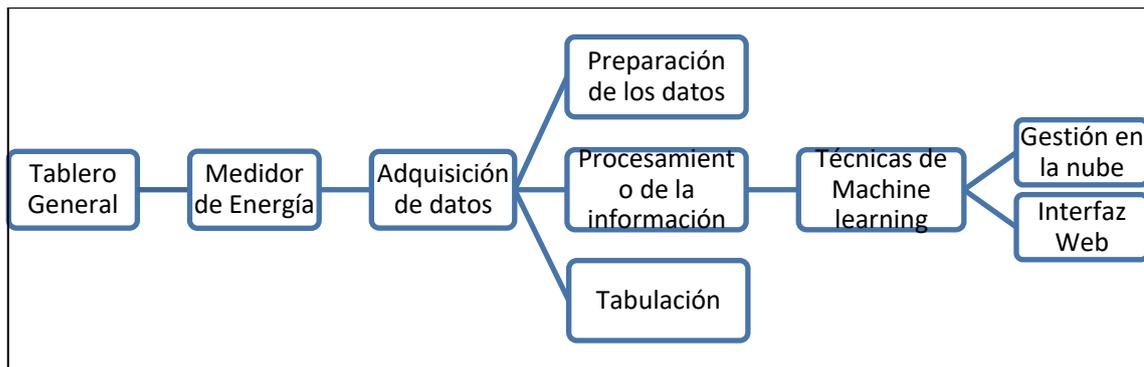
El uso de la energía eléctrica es crítico dentro de la industria ya que representa un costo por lo que es necesario medir la energía que se consume para poder aplicar técnicas que controlen el consumo de energía y mejorar la eficiencia energética dentro de la planta.

En el Ecuador el consumo de electricidad ha incrementado de 17.632 GWh a 26.969 GWh en los últimos diez años según se indica en el Balance Energético Nacional (Ministerio de Energía y Minas, 2021 págs. 40-50), por lo que reducir las pérdidas ocasionadas por un factor de potencia bajo permitirá mejorar la eficiencia y producir mayor trabajo útil. Las principales ventajas de corregir el factor de potencia es reducir o eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad, disminuir la pérdida de energía en las líneas de transmisión, reducir la caída de tensión y aumentar la potencia disponible. ( Schneider Electric España, S.A, 2010 págs. 3-26).

Al analizar el consumo de energía de la instalación se permitirá identificar y evaluar los recursos energéticos disponibles, con la información disponible se podrá evaluar y tomar acciones que permitan mejorar la energía, optimizar el consumo de energía, evitar penalizaciones por parte de la empresa suministradora y reducir el pago de la factura eléctrica.

La finalidad de desarrollar este trabajo es implementar un algoritmo para predecir las variaciones del factor de potencia en las instalaciones eléctricas, tomando como base la teoría de sistemas de control de factor de potencia y aplicaciones de algoritmos de predicción basados en machine learning.

En el siguiente diagrama se puede observar el proceso que se desarrollara en el presente proyecto. La primera etapa del proceso es identificar el tablero general y realizar la instalación del medidor de energía para analizar el consumo energético. La siguiente etapa es la adquisición y preparación de los datos a través del análisis se identificarán errores, valores atípicos y se establecerán los límites de funcionamiento para poder aplicar alguno de los algoritmos disponibles basados en machine learning. La última etapa será implementar una interfaz web para la visualización y monitoreo remoto en la cual se podrá observar el consumo de energía a través del tiempo, así como el factor de potencia y el resultado de la predicción además la información estará disponible en la nube.



**Figura 1-1.** Diagrama General del proceso de adquisición y procesamiento de información.

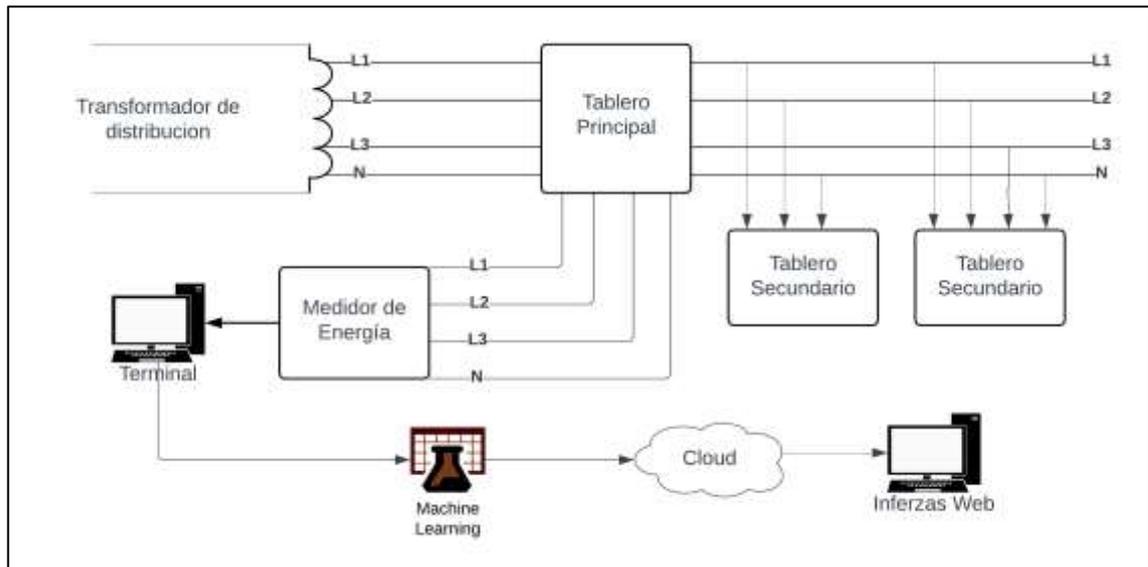
**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 1.3 Justificación aplicativa

El trabajo de integración curricular: “Análisis de consumo energético en el laboratorio de industria 4.0 y robótica de la Facultad de Informática y Electrónica para la predicción del factor de potencia mediante técnicas de machine learning” busca determinar el consumo de energía, factor de potencia y otras variables eléctricas. El resultado del presente trabajo permitirá implementar un algoritmo para predecir el factor de potencia lo que permitirá mejorar la eficiencia energética, reducir gastos y pérdidas ocasionadas por un bajo factor de potencia.

Mediante la aplicación de algoritmos de predicción basadas en machine learning se puede logra identificar patrones entre los datos lo que permite aumentar el valor de la información, a nivel industrial las empresas que cuentan con sistemas de aprendizaje automático logran aumentar la productividad, reducir los costos de operación y optimizar los procesos de producción.

El algoritmo de predicción utiliza una base información el cual se consigue mediante un medidor de energía, donde se analizarán parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia, en la Figura 2-1, se puede observar un esquema general del medidor de energía, el análisis y procesamiento de información, además de la aplicación de machine learning junto con una interfaz web para la supervisión.



**Figura 2-1.** Representación General del sistema de medición y adquisición de datos.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Analizar el consumo energético en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica para la predicción del factor de potencia mediante técnicas de machine learning.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte de los algoritmos de predicción basados en machine learning.
- Analizar y determinar las cargas que afectan al factor de potencia y el consumo de energía.
- Determinar la demanda de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia en el tablero principal.
- Implementar algoritmos de predicción de factor de potencia considerando el consumo de energía.
- Diseñar un sistema de monitoreo y supervisión por medio de interfaces web.
- Evaluar el algoritmo de predicción de factor de potencia.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 Análisis Energético

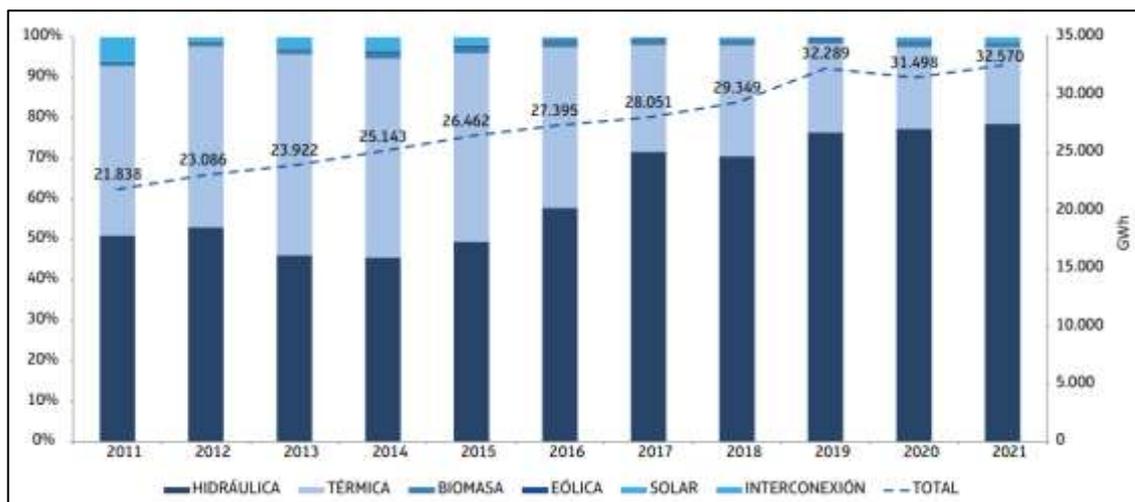
La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía y el correcto uso de los recursos no renovables. Se puede lograr una eficiencia energética al reducir la cantidad de recursos para realizar un determinado proceso sin que disminuya la calidad del producto final. El sector eléctrico ecuatoriano cuenta con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) y el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), instituciones encargadas de establecer políticas que permitan regular, adecuar y mejorar el uso de la energía eléctrica. (CONELEC, 2013 págs. 3-24)

La Energía Eléctrica es uno de los principales componentes para el desarrollo económico y social de un país, por lo tanto, se debe garantizar el abastecimiento constante, principalmente generado por centrales hidroeléctricas y reducir progresivamente la participación de termoeléctricas las cuales generan mayor contaminación. En Ecuador se planea manejar otras fuentes de energía renovable como: energía solar, eólica, geotérmica o de biomasa como alternativas sostenibles a largo plazo para la generación de energía eléctrica. (CONELEC, 2013 págs. 3-24)

Los sectores: industriales, comerciales, transporte y residenciales consumen en la mayoría energía eléctrica por lo que es necesario determinar la demanda actual de energía eléctrica y establecer el comportamiento de la demanda a futuro para garantizar una eficiencia energética.

##### 2.1.1 *Consumo de Energía Eléctrica*

El Ecuador cuenta con una oferta de energía eléctrica de 32.570 GWh en el año 2021, como se indica en la Figura 1-2, el incremento de la oferta es de 49.1% respecto al año 2011 y se debe a la creación de centrales eléctricas que permiten reducir las importaciones de electricidad. Más del 78% de la generación eléctrica proviene de centrales hidroeléctricas. (Ministerio de Energía y Minas, 2021 págs. 34-45)

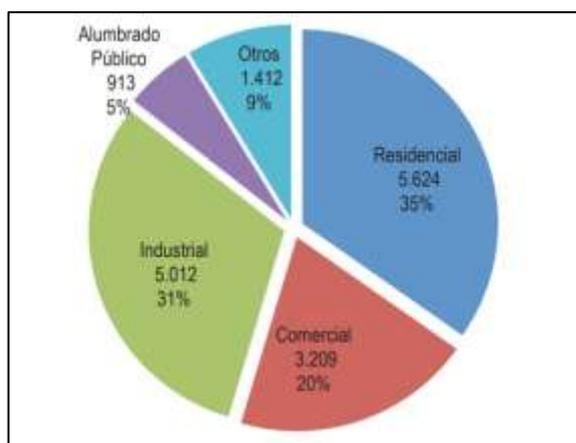


**Figura 1-2.** Fuentes de Generación de Energía Eléctrica.

**Fuente:** (Ministerio de Energía y Minas, 2021 pág. 42).

Uno de los objetivos del Ministerio de Energía y Minas es asegurar la oferta de energía eléctrica en base a la demanda a largo plazo, brindando un servicio de calidad sin generar riesgos medioambientales. El incremento de la demanda y el constante crecimiento de la población produce que la generación de la oferta de energía sea insuficiente por lo tanto se debe fomentar el uso eficiente de la energía eléctrica e implementar sistemas de gestión de energía. (Sánchez, y otros, 2009 págs. 12-27)

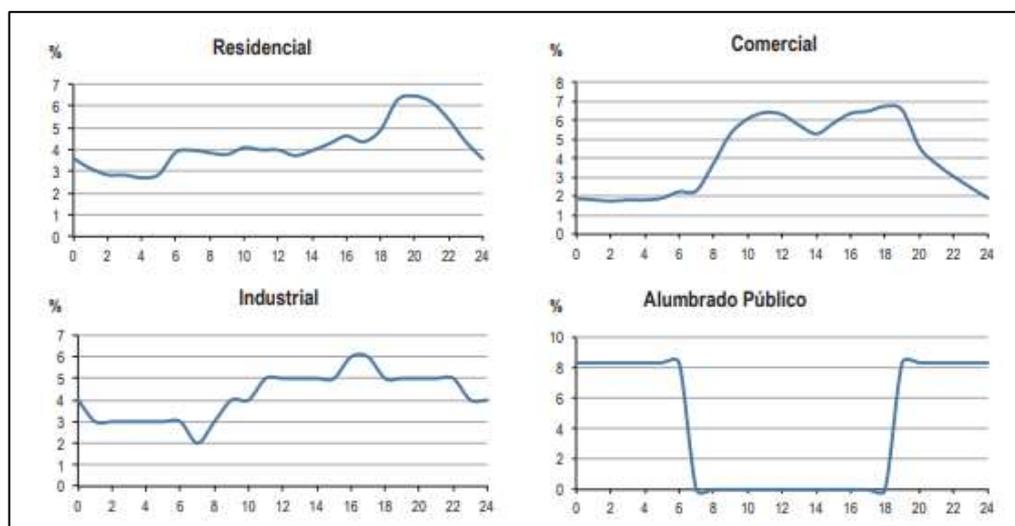
El consumo de energía se puede observar en la Figura 2-2, los principales sectores son: el sector comercial con un consumo del 20%, el sector residencial con el 35% y el sector industrial que representa el 31% del total de energía generada por las empresas distribuidoras. (CONELEC, 2013 págs. 3-24)



**Figura 2-2.** Consumo de energía eléctrica distribuido por sector.

**Fuente:** (CONELEC, 2013 pág. 6).

Las empresas suministradoras de energía eléctrica cuentan con información del consumo en cada sector para poder determinar la demanda total y establecer las tarifas de consumo en los diferentes sectores, como se puede observar en la Figura 3-2, las horas en la que existe mayor demanda de energía.



**Figura 3-2.** Curvas de la demanda de energía eléctrica para cada sector.

Fuente: (CONELEC, 2013 pág. 6).

### 2.1.1.1 Niveles de Voltaje

El Servicio público de energía eléctrica (SPEE) divide a los consumidores de energía eléctrica según el nivel de voltaje entregado como se observa en la Tabla 1-2, se presentan los niveles de voltaje disponibles para los consumidores residenciales y generales los cuales incluyen entidades de servicio comerciales e industriales. (ARCERNNR, 2022 pág. 22)

**Tabla 1-2.** Niveles de Voltaje en el punto de entrega del consumidor.

Nivel de Voltaje		Voltaje Suministrado
Bajo		Menor o igual a 0.6 kV
Medio		Mayor a 0.6 kV y menor a 40 kV
Alto	Grupo 1	Mayor a 40 kV y menor 138 kV
	Grupo 2	Mayor a 138 kV

Fuente: (ARCERNNR, 2022 pág. 22).

### 2.1.1.2 Tarifa Residencial

Corresponde a todos los consumidores de energía legalmente registrados que utilizan la energía eléctrica exclusivamente para el uso doméstico independiente del consumo que puede llegar a tener. También se incluyen domicilios que cuentan con una pequeña actividad comercial o artesanal (ARCERNNR, 2022 pág. 22).

En la Tabla 2-2 se puede observar el costo de la energía representada en USD/kWh a partir de la potencia consumida para instalaciones de baja y media tensión, además un cobro de \$ 1,41 ctvs. adicional de comercialización, los usuarios con tarifa residencial que consuman más energía deberán pagar más debido que el costo de la energía es exponencial.

**Tabla 2-2.** Cargo de la tarifa residencial

Rango de Consumo [kWh]	Energía [USD/kWh]	Comercialización [USD]
100-500	0.105	1.41
501-700	0.128	
701-1000	0.145	
1001-1500	0.170	
1501-2500	0.275	
2501-3500	0.436	
Superior	0.681	

**Fuente:** (ARCERNNR, 2022 pág. 22).

Las empresas distribuidoras de energía recomiendan fomentar el ahorro de energía, reemplazando equipos antiguos que tienden a consumir de dos a tres veces más que equipos nuevos, además evitar el uso de dispositivos que consuman mayor potencia en horas pico como se puede observar en la Figura 3-2.

### 2.1.1.3 Tarifa Comercial

Los consumidores que se registren como industriales utilizan la energía eléctrica para fines de negocio o cualquier actividad profesional con fines de lucro. En la Tabla 3, se puede observar el costo de la energía en bajo, medio y alto voltaje el cual dispone de un registro de la demanda de potencia y los periodos de consumo de energía. (ARCERNNR, 2022 págs. 22-29). Los consumidores con una demanda menor a los 10kW tienen una tarifa sin demanda solo tendrán un cargo por comercialización de \$ 1.41 y por la energética consumida.

**Tabla 3-2.** Cargo de la tarifa comercial

Nivel de Voltaje	Horario de Consumo	Demanda [USD/kW-mes]	Energía [USD/kWh]
Bajo Voltaje	08:00 a 22:00	4.79	0.090
	22:00 a 08:00		0.072
Medio Voltaje	08:00 a 22:00	4.57	0.092
	22:00 a 08:00		0.077
Alto Voltaje	08:00 a 22:00	4.40	0.089
	22:00 a 08:00		0.081

Fuente: (ARCERNNR, 2022 págs. 22-29).

#### 2.1.1.4 Tarifa Industrial

Las personas naturales o jurídicas, empresas públicas o privadas que se declaren consumidores industriales utilizarán la energía para la elaboración o transformación de productos provenientes de la agricultura, ganadería, pesca y riqueza forestal. Como se observa en la Tabla 4, los consumidores industriales cuentan con horarios y tarifas específicas para cada nivel de voltaje, es necesario de un dispositivo registrados de la demanda horaria para identificar la demanda de la potencia y el consumo de energía en los periodos de tiempo asignados.

**Tabla 4-2.** Cargo de la tarifa industrial

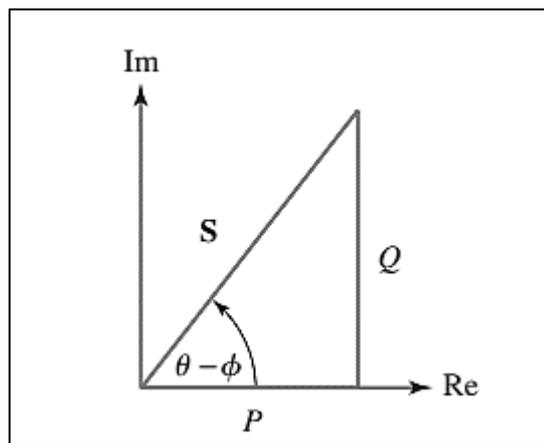
Nivel de Voltaje	Horario de Consumo	Energía [USD/kWh]	Demanda [USD/kW-mes]
Bajo Voltaje	08:00 a 22:00	0.065	4.79
	22:00 a 08:00	0.069	
Medio Voltaje	L-V 08:00 a 18:00	0.0897	4.576
	L-V 18:00 a 22:00	0.1037	
	L-V 22:00 a 08:00	0.0501	
	S, D, F 18:00 a 22:00	0.0897	
Alto Voltaje	L-V 08:00 a 18:00	0.0837	4.40
	L-V 18:00 a 22:00	0.0967	
	L-V 22:00 a 08:00	0.0501	
	S, D, F 18:00 a 22:00	0.0837	

Fuente: (ARCERNNR, 2022 págs. 22-29).

### 2.1.2 Factor de potencia

El Factor de potencia (FP) es la razón de la potencia activa y la potencia aparente, en este sentido se establece que el factor de potencia es considerado como un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía. El FP es unitario en el caso de una carga puramente resistiva, y cero en el de una puramente reactiva, cuando se presenta un factor de potencia igual a uno el valor es ideal e indica que toda la energía consumida se ha transformado en trabajo (Hart, y otros, 2012 págs. 419-440).

A nivel industrial se puede observar una mezcla de cargas resistivas y reactiva lo que produce una variación en el FP, para determinar el factor de potencia se utilizará el triángulo de potencia el cual se observa en la Figura 4-2.



**Figura 4-2.** Triángulo de potencia.

Fuente: (Hart, y otros, 2012 pág. 420)

El triángulo de potencia se emplea para representar la potencia aparente en función de la potencia activa (eje real) y la potencia reactiva (eje complejo). El factor de potencia se puede determinar a partir de relaciones trigonométricas, un FP de potencia está en retraso cuando existe la presencia de cargas inductivas. (Hart, y otros, 2012). El FP se puede representar como el coseno del ángulo de la impedancia de la carga como se indica en la ecuación 1.

$$fp = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{P}{S} = \text{Cos}(\theta_v - \theta_i) \quad (1)$$

El factor de potencia afecta directamente a la cuenta de electricidad que pagan los consumidores a la compañía suministradora (Alexander, y otros, 2006).

Para determinar el factor de potencia de los consumidores generales es decir de consumidores comerciales e industriales se debe considerar la ecuación 2:

$$P_{B_{FP}} = \left\{ \begin{array}{ll} P_{B_{FP}} = 0 & \text{si } FP_r \geq 0.92 \\ P_{B_{FP}} = B_{FP} \times PFPEE_i & \text{si } FP_r < 0.92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Donde:

$P_{B_{FP}}$  = Penalización por bajo factor de potencia

$FP_r$  = Factor de potencia registrado o calculado

$B_{FP}$  = Factor de penalización

$FSPEE_i$  = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

El valor del factor de potencia registrado en el periodo de consumo es de 0.6 para cualquier consumidor, la empresa suministradora de energía tendrá la obligación de notificar y suspender el servicio eléctrico hasta que el consumidor corrija el factor de potencia de las instalaciones. (ARCERNR, 2022 pág. 20).

### 2.1.3 Corrección del factor de potencia

Uno de los factores que afecta la eficiencia del transporte de energía es la potencia reactiva, que es generada por las cargas de tipo inductivas. En las cargas inductivas la corriente se encuentra retrasada con respecto al voltaje por lo tanto da como resultado un factor de potencia retrasado o diferente a la unidad, la mayor parte de las cargas utilizadas en el sector industrial son motores de inducción que operan con un factor de potencia bajo y en atraso, debido a la naturaleza de la carga no se puede modificar, pero es posible aumentar el factor de potencia utilizando diversas técnicas (Alexander, y otros, 2006 pág. 393).

Una de las técnicas para corregir el factor de potencia es instalar un capacitor o banco de capacitores en paralelo a la carga o conjunto de cargas, con el tamaño adecuado de capacitor se puede lograr que la corriente este completamente en fase con la tensión, lo que implica que el factor de potencia sea la unidad o lo más cercano a la unidad. Las compañías que suministran energía eléctrica cobran más por corrientes mayores ya que provocan perdidas de potencia, por lo tanto, es benéfico para la compañía suministradora como para el consumidor industrial realizar un esfuerzo para mantener un factor de potencia lo más cercano a la unidad. (Alexander, y otros, 2006 pág. 393)

#### **2.1.4 Medidores de energía**

Son equipos especializados para determinar el consumo de energía, parámetros eléctricos, y analizar las cargas conectadas a la red de una instalación. A través de los medidores se puede detectar fallos en las instalaciones, fugas de corriente, picos de corriente y variaciones de tensión. En el mercado existen múltiples empresas como SIEMENS con la línea de multímetros industriales SENTRON, la empresa ABB con el multímetro digital M4M y equipos muchos mas especializados como el Analizador de calidad de energía Fluke.

##### **2.1.4.1 SentronPAC SIEMENS**

Los multímetros digitales permiten determinar las magnitudes eléctricas básicas en distribuciones de energía de baja tensión, es posible realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas. Los multímetros de la línea SENTRON están previstos para un montaje sobre el panel eléctrico o sobre perfiles DIN para aplicaciones industriales, domesticas o comerciales. La medición de tensión se realiza de forma directa en la red o a través de transformadores de tensión, las entradas de voltaje del dispositivo miden directamente a través de las impedancias de protección hasta tensiones de 400 V entre línea y neutro y 347 V para mediciones línea a línea, además permite determinar la corriente a través del uso de transformadores de corriente con valores nominales de salida de 1A o 5A, esta característica se aplica para todos los dispositivos de la línea SENTRON (SIEMENS AG, 2019 págs. 13-22).

El modelo SentronPAC3220 permite realizar la medición de más 100 magnitudes eléctricas, como valores máximos, mínimos, valores promedio y valores de energía, el medidor de energía se actualiza cada 200ms, se puede parametrizar el tiempo del periodo de la demanda de forma independiente, el ajuste predeterminado de la duración del periodo es de 15 minutos. Además, el modelo SENTONPAC3220 cuenta con dos interfaces Ethernet las cuales pueden ser utilizadas como un switch integrado para conectar otras estaciones de trabajo a la misma red (SIEMENS AG, 2019).

En la Figura 5-2, se presenta el medidor de energía de SentronPAC3220 de Siemens el cual incorpora un display LCD junto con cuatro botones para navegar entre las magnitudes medidas. El multímetro posee funciones de monitoreo, diagnóstico del equipo, cambio de la tarifa, contadores de energía activa y reactiva, contador de horas de funcionamiento y una interfaz web para la supervisión.



**Figura 5-2.** Medidor de Energía SENTRON PAC3220.

Fuente: (SIEMENS AG, 2019 pág. 12).

#### 2.1.4.2 M4M-20 ABB

El analizador de redes M4M cuenta con funciones avanzadas para determinar la medida de los principales parámetros eléctricos para redes en media o baja tensión para instalaciones monofásicas y trifásicas. El analizador de red permite realizar la medida y análisis de los parámetros eléctricos en tiempo real, así como la calidad de energía de forma bidireccional monitoreando la producción y el consumo de energía con un solo dispositivo. La información generada por el analizador de red puede ser accesible mediante interfaces de comunicación RS485 o RJ45 bajo el soporte de los protocolos de comunicación Modbus RTU, Profibus y Modbus TPC/IP. La nueva versión de analizadores M4M cuenta con certificación MID, norma comunitaria que exige características especiales para equipos de medición que aseguran la calidad de medición de la energía (ABB, 2020).

En la Figura 6-2, se puede observar el analizador de red M4M-20 de ABB, un dispositivo compacto el cual se puede instalar sobre un panel eléctrico presenta una pantalla a color para monitorear los parámetros eléctricos medidos.



**Figura 6-2.** Analizador de red M4M-20.

Fuente: (ABB, 2020).

#### 2.1.4.3 Analizador de carga 1770 Fluke

El analizador de calidad de energía trifásica de la serie 1770 permite realizar el registro y análisis de la calidad de energía eléctrica, el tamaño compacto del dispositivo permite que sea portátil y gracias a la interfaz de usuario amigable es posible configurar y poner en marcha al dispositivo de manera sencilla. El analizador cuenta con más de 500 parámetros de calidad de energía que se pueden ajustar y configurar, los datos registrados se pueden visualizar, descargar o transmitir al instante a través de un Software específico generando informes que permitan revisar y analizar los resultados (Fluke Corp, 2021).

El medir de energía Fluke 1770 permite identifica formas de onda, transitorios de alta velocidad, armónicos de alta frecuencia, variaciones de tensión y picos de corriente gracias a un sistema de alertas configurable, para alimentar al dispositivo se lo realiza desde la red de medición o por medio de una fuente de alimentación integrada que alimenta al dispositivo, además el equipo cuenta con una batería la cual tiene una duración de 90 minutos que garantizan el acceso a los datos recolectados (Fluke Corp, 2021 págs. 1-11).

En la Figura 7-2, se puede observar el analizador de carga 1770 de Fluke el cual cuenta con una gran pantalla a color para la visualización de datos, gracias a la forma y tamaño del dispositivo se puede realizar pruebas rápidas a los sistemas eléctricos o realizar estudios detallados sobre la calidad y uso de la energía eléctrica.



**Figura 7-2.** Analizador de eléctrica serie 1770.

**Fuente:** (Fluke Corp, 2021 pág. 1).

En la Tabla 5-2 se puede observar una comparación de los medidores de energía junto con las características más relevantes, tipo de conexiones, precio y disponibilidad en el mercado nacional.

**Tabla 5-2.** Características de los medidores de Energía

<b>Equipo</b>	<b>SENTRON PAC3220</b>	<b>M4M-20</b>	<b>1770 Fluke</b>
<b>Fabricante</b>	Siemens	ABB	Fluke
<b>Características</b>	Medidor de magnitudes eléctricas y energía	Analizador de energía	Analizador de carga
	Conexiones monofásicas, bifásicas y trifásicas	Conexiones monofásicas y trifásicas	Conexiones trifásicas
	Instalación sobre paneles o perfiles DIN	Instalación sobre paneles	Equipo portátil
<b>Alimentación</b>	Directa de la red	Directa de la red	Directa de la red, fuente de alimentación externa, batería de respaldo
<b>Medición de Voltaje</b>	Directo de la red máximo 400 V AC	Directo de la red máximo 400 V AC	Directo de la red máximo 660 V AC y 100 V DC
<b>Medición de Corriente</b>	Transformadores de Corriente	Transformadores de Corriente o Bobinas Rogowski	Bobinas Rogowski
<b>Precio</b>	\$ 400	\$ 600	\$ 8 000

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

## 2.1.5 Sensores de corriente

### 2.1.5.1 Transformadores de Corriente

Los transformadores de Corriente Alterna se utilizan para medir la corriente de circuitos con corrientes muy alta de forma segura. A través de un Transformador de Corriente (TC) la corriente se reduce en el lado secundario del transformador para proteger los circuitos de medición, la corriente en la salida de los TC es por lo general de 500mA, 1A o 5A, dependiendo del dispositivo de medición (ABB, 2014 pág. 9). Los TC puede ser de núcleo solido o de núcleo partido permitiendo una fácil instalación en las líneas de tensión ya instaladas como se indica en la Figura 8-2.



**Figura 8-2.** Transformado de corriente de Núcleo cerrado.

Fuente: (ABB, 2014 pág. 9)

### 2.1.5.2 Bobinas Rogowski

Las bobinas Rogowski son un tipo de transformador de corriente de tipo espiral ideal para espacio reducidos. La bobina de Rogowski se coloca alrededor de un cable o barra de corriente. La corriente alterna que fluye a través del conductor induce un voltaje proporcional en la bobina de Rogowski como se muestra en la Figura 9-2. La principal ventaja de las bobinas Rogowski es la flexibilidad y diseño de núcleo abierto lo que permite realizar las medidas de corriente en cables de gran calibre sin la necesidad de desmontar o interrumpir el servicio de energía (WAGO, 2023).



**Figura 9-2.** Transformadores de Corriente Rogowski Coils

Fuente: (WAGO, 2023)

## 2.2 Machine Learning

El termino machine learning (ML) o aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial que genera algoritmos que son capaces de desarrollarse por su cuenta sin la necesidad de programados de manera explícita como se explica en (Sandoval, 2018 págs. 34-40). Según (Cabenas, 2019) el ML utiliza técnicas estadísticas para que los sistemas informáticos se doten de las capacidades necesarias para aprender de forma automática y mejorar progresivamente. Durante mucho tiempo el machine learning ha resuelto una cantidad enorme de problemas complejos del mundo real en varias aplicaciones como marketing, procesamiento de lenguaje natural, sistemas de vehículos autónomos entre otros (Machine Learning models based in Supervides Learning for the Deteccion of Diabetes Mellitus in the City of Guayaquil., 2023)

Las aplicaciones del ML son muy variadas y son ampliamente usadas en el ámbito de las matemáticas, robótica, medicina, biología, economía y finanzas, big data, marketing, recursos humanos, etc. Algunas de las aplicaciones más frecuentes del ML son las siguientes:

- Cálculo de probabilidades estadísticas, financieras, etc.
- Predicción y prevención de fallas en equipos informáticos, mecánicos y eléctricos.
- Detección de patrones en el comportamiento de potenciales clientes en el ámbito del marketing.
- Selección y organización del personal de una empresa.

### 2.2.1 Clasificación del Machine Learning

Para que el ML se desarrolle requiere de una enorme alimentación de datos (big data) que le permiten aprender y desarrollarse en un área específica. En este contexto, el aprendizaje del ML se divide en tres grupos, el supervisado, el no supervisado y el aprendizaje por refuerzo

#### *2.2.1.1 Aprendizaje Supervisado*

El aprendizaje supervisado consiste en entrenar a un algoritmo de forma que se le proporciona preguntas (características) y respuestas (etiquetas); de esta forma, en un futuro el algoritmo puede realizar una predicción en base a las características que conoce. Dentro de este grupo existen dos tipos de algoritmos, el de clasificación y el de regresión (Sandoval, 2018 págs. 34-40).

#### *2.2.1.2 Aprendizaje No Supervisado*

El aprendizaje no supervisado solo cuenta con las características que se le proporciona al algoritmo y no con las respuestas, en este sentido se espera que el algoritmo agrupe los datos en base a las características que se le dio, es decir que el algoritmo solo sabe que si los datos comparten ciertas características pueden pertenecer a un mismo grupo (Sandoval, 2018 págs. 34-40).

#### *2.2.1.3 Aprendizaje por Refuerzo*

Es el más común de los tres tipos. La máquina aprende observando por sí misma el mundo que le rodea. La información que maneja se obtiene del mundo exterior y la máquina aprende en base a sus acciones, con un sistema de ensayo y error. El programador no indica al software cómo debe comportarse, sino que es este quien aprende del entorno y modula su comportamiento mediante un sistema de castigos o recompensas. (Sandoval, 2018 págs. 34-40)

### **2.2.2 Modelos de algoritmos de Aprendizaje Supervisado**

#### *2.2.2.1 Modelos Lineales*

Buscan encontrar una función que se ajuste de forma idónea a la nube de puntos que se dispone. Dentro de este grupo destacan la regresión lineal, también conocida como regresión de mínimos cuadrados; y la logística que se trata de una adaptación de la lineal a problemas de clasificación cuando se trata de variables discretas o categóricas. Ambos modelos tienen el problema del “overfit” que se refiere a un ajuste bastante exacto o que se ajustan demasiado a los datos disponibles interfiriendo en un posible riesgo a nuevos datos que pueden llegar. Al tratarse de

modelos relativamente simples, no se evidencia resultados 100% confiables para el caso de comportamientos complicados (Calvo, y otros, 2018 págs. 24-40).

### 2.2.2.1.1 Regresión Lineal

La regresión lineal es un método estadístico que permite determinar la relación lineal que existe entre dos variables (X, Y) generando una ecuación que logre agrupar las variables. Primero se debe analizar la correlación de las variables antes de generar un modelo de regresión lineal (Amat Rodrigo, 2016).

La correlación lineal es la relación lineal que existe entre las variables analizadas, uno de los parámetros para cuantificar la relación es la covarianza como se indica en la ecuación 3, donde  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  es la media de cada variable y  $x_i$  e  $y_i$  es el valor de las variables para  $i$  muestras.

$$\text{Covarianza} = \text{COV}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1} \quad (3)$$

La correlación se mide en una escala de [-1 a 1] donde:

0: Ausencia de correlación

0.5: Correlación Moderada

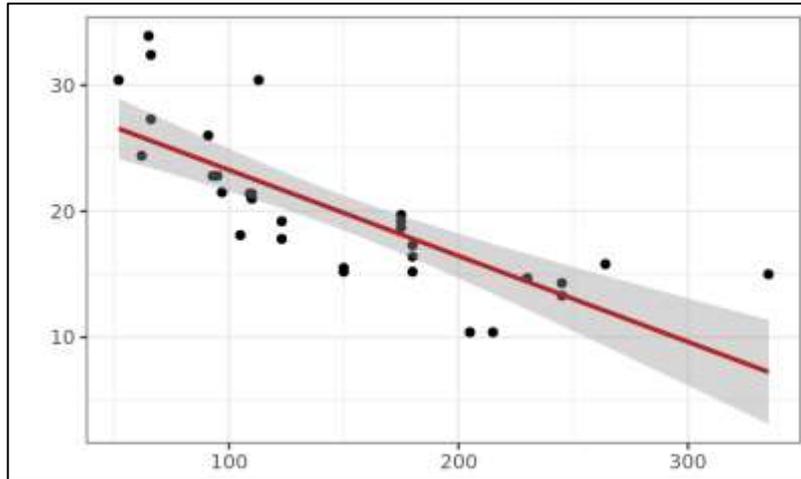
1: Alta Correlación

$\pm$ : Dirección de la pendiente

La regresión lineal consiste en generar un modelo de regresión (ecuación de la recta) que permite identificar la relación entre la variable dependiente o de resultado  $Y$ , y la variable independiente o de predicción  $X$ , obteniendo la forma de la ecuación:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (4)$$

Donde  $\beta_0$  es el término independiente o ordenada en el origen y  $\beta_1$  la pendiente de la recta, a estos valores se los denomina coeficientes o estimadores, obteniendo la recta que pasa más cerca por la mayoría de las muestras como se indica en la Figura 10-2.



**Figura 10-2.** Modelo de regresión lineal.

**Fuente:** (Amat Rodrigo, 2016)

En los algoritmos de machine learning la correlación lineal de dos variables se conoce como coeficiente de determinación  $R^2$  el cual se interpreta como la cantidad de varianza de  $Y$  en  $X$  y es utilizada para evaluar al modelo de regresión lineal. Los modelos de regresión lineal utilizan intervalos de predicción para establecer un rango aceptable de error (Amat Rodrigo, 2016).

El método de Gradiente descendiente se utiliza para realizar optimizaciones de los algoritmos de regresión permitiendo ajustar los valores de los estimadores para reducir el error en la predicción.

### 2.2.2.1.2 Regresión Lineal múltiple

La regresión lineal múltiple es un método estadístico que utiliza múltiples variables independientes  $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$  y la variable dependiente  $\hat{Y}$  además de los términos o coeficientes de regresión  $\beta_i$  obteniendo un modelo como se presenta en la ecuación 5.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \dots + \beta_nx_n \quad (5)$$

Para generar un modelo de regresión lineal múltiple se debe cumplir con ciertas características las cuales son : que las variables independientes no deben tener colinealidad entre sí, identificar valores atípicos o que afectan al modelo, determinar el tamaño de la muestra, entre otros, no se cuenta con un modelo estadístico para determinar la existencia o no de colinealidad entre las variables independientes por lo que se genera un modelo de regresión lineal simple para cada variable obteniendo el coeficiente de determinación  $R^2$  en el caso de ser  $\pm 1$  o un valor muy alto se estima que existe una posible colinealidad y se puede excluir una de las variables del modelo (Amat Rodrigo, 2016).

Para excluir una de las variables independientes se debe evaluar el modelo en conjunto y verificar que variables independientes contribuyen de forma significativa al modelo, es decisión del investigador eliminar una variable que no aporte al resultado de predicción.

### 2.2.2.1.3 Regresión Polinomial

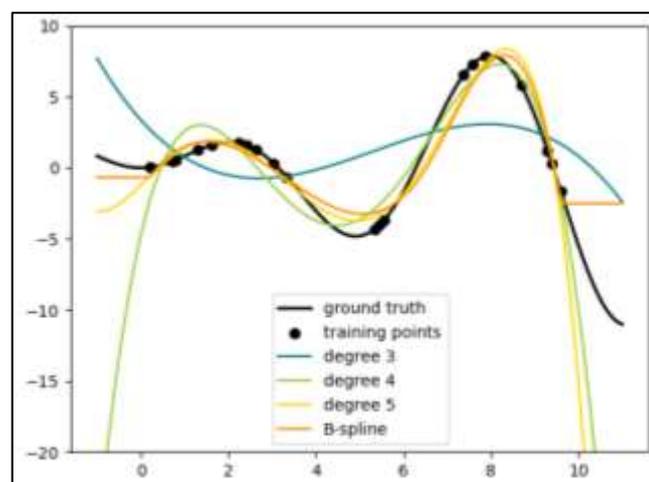
El modelo de regresión polinomial se considera una ampliación de los modelos de regresión lineal simple o múltiple, es posible construir un modelo de regresión lineal a partir de características polinómicas, un modelo lineal estándar tiene la forma:

$$\hat{Y}(\beta, x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (6)$$

Por lo tanto, se puede ajustar las características  $x_1, x_2$  en polinomios, obteniendo un nuevo modelo el cual sigue siendo lineal como se muestra en la ecuación 7 una representación de las características en un polinomio de segundo orden (Pedregosa et al, 2011).

$$\hat{Y}(\beta, x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \beta_4 x_1^2 + \beta_5 x_2^2 \quad (7)$$

En la Figura 11-2, se puede observar un ejemplo de la aplicación de característica polinomiales de distinto orden a datos unidimensionales obteniendo graficas que se aproximan a los valores reales.



**Figura 11-2.** Ejemplo de representación Polinomial.

Fuente: (Pedregosa et al, 2011)

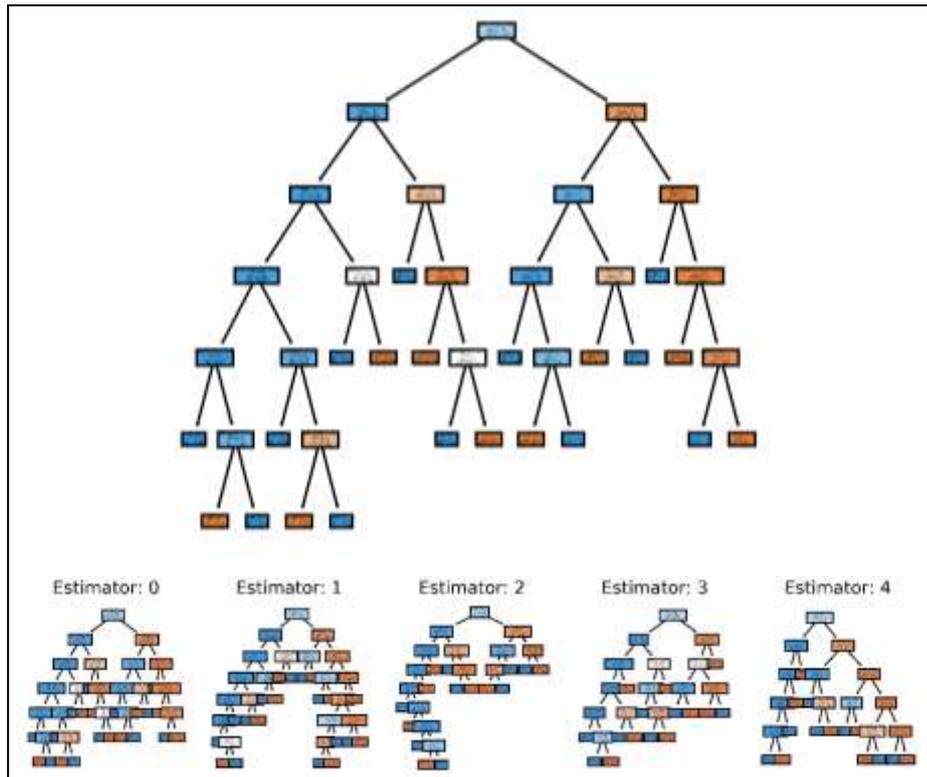
### 2.2.2.2 Árboles de Regresión

Son modelos estables, precisos y sencillos de interpretar, esto porque construyen reglas de decisión que pueden ser presentadas como un árbol. Sin embargo, su poder predictivo puede ser más limitado que el de otros modelos ya que realizan una partición ortogonal del espacio lo que limita la capacidad predictiva. En estos modelos se destacan los árboles de clasificación (cuando la variable objetivo es categórica) y de regresión (cuando la variable objetivo es continua). Al ser modelos más precisos y elaborados se gana en capacidad, sin embargo, se pierde en rendimiento (Calvo, y otros, 2018 págs. 24-40).

#### *2.2.2.2.1 Random Forest*

El modelo de bosque aleatorio o Random Forest (RF) es la combinación de distintos árboles de decisión para determinar un resultado, utilizado para tareas de clasificación donde la respuesta es el valor con mayor frecuencia o en tareas de regresión que determina el promedio de las salidas de los árboles de decisión (Qi, 2012 págs. 307–323).

Cada árbol de decisión se genera a partir de un valor aleatorio de la muestra generando n cantidad de modelos o estimadores con una parte del dataset original logrando obtener una reducción en la varianza lo que permite mejorar el resultado del modelo de RF. En la Figura 12-2, puede observar el modelo de árbol de decisión y el conjunto de árboles de decisión de diferente dimensión formando un bosque aleatorio.

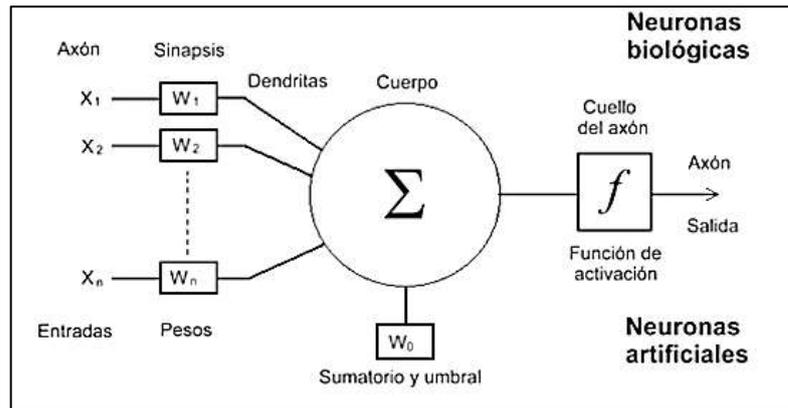


**Figura 12-2.** Esquema de un árbol de decisión y un bosque aleatorio

Fuente: (Kris, 2017)

### 2.2.2.3 Redes Neuronales

Son modelos matemáticos multivariantes no lineales que emplean procedimientos iterativos, con la finalidad de minimizar una determinada función de errores y así poder clasificar las observaciones. Las redes neuronales se componen de neuronas que se encuentran conectadas entre sí a través de nodos y capas. Estas conexiones emulan las dendritas y los axones en el sistema nervioso biológico por lo que se replica el comportamiento del cerebro mediante el intercambio de información como se muestra en la Figura 13-2, una comparación entre la red neuronal biológica y una red neuronal artificial (Astudillo Astudillo, 2022 págs. 1-11). El punto débil de una red neuronal es el carácter de “caja negra”, es decir, la dificultad que tiene en la interpretación de los resultados.



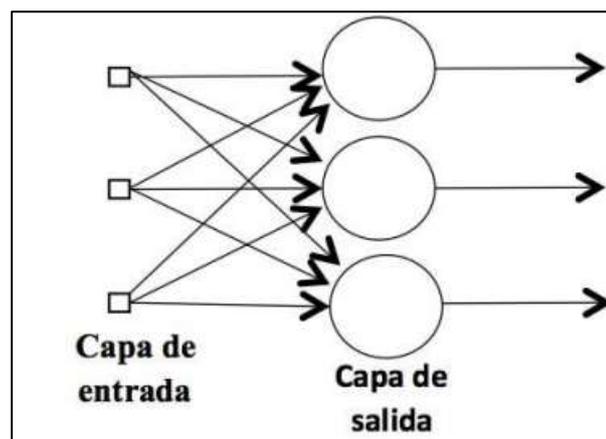
**Figura 13-2.** Esquema de una red neuronal biológica y una artificial.

**Fuente:** (Astudillo Astudillo, 2022 pág. 7)

Como extensión de las redes neuronales se destacan las redes neuronales profundas, las mismas que consisten en el empleo de redes neuronales con múltiples capas. Se las define como modelos englobados en aprendizaje profundo o deep learning, y pueden tener millones de parámetros dependiendo de la complejidad del problema que se desea abordar (Calvo, y otros, 2018 págs. 24-40).

#### 2.2.2.3.1 Redes Neuronales Monocapa

La red neuronal monocapa es la topología más básica de las redes neuronales artificiales, consta de una sola capa como se indica en la Figura 14-2, se utiliza principalmente para procesos de asociación e identificación de patrones (Rivas Asanza, y otros, 2018 págs. 11-25).

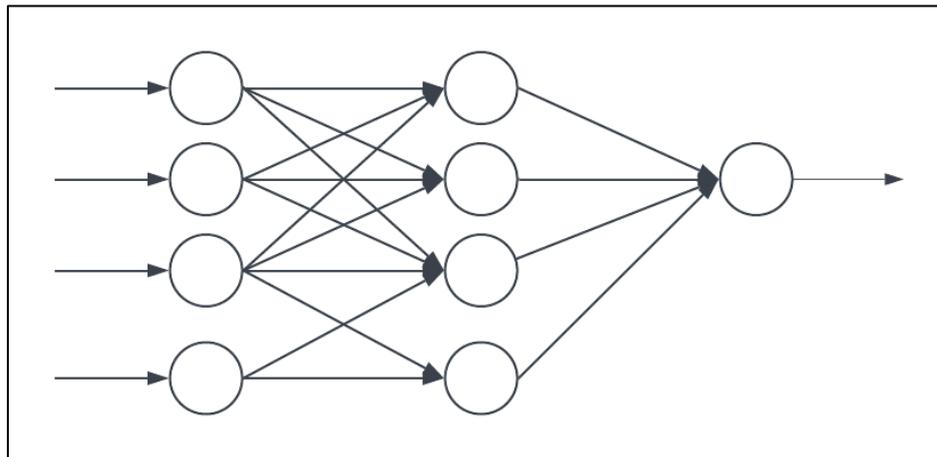


**Figura 14-2.** Esquema de red neuronal monocapa

**Fuente:** (Rivas Asanza, y otros, 2018)

#### 2.2.2.3.2 Redes Neuronales Multicapa

Las redes neuronales multicapa son un conjunto de capas interconectadas entre la entrada y salida por medio de múltiples capas ocultas la misma que suele estar totalmente conectadas o parcialmente conectadas, además se puede encontrar estructuras recurrentes que permiten la realimentación como se puede observar en la Figura 15-2. Las redes neuronales multicapa utilizan técnicas de propagación hacia adelante o feed-forward, propagación hacia atrás o feedback y también se construyen modelos con una combinación de las técnicas (Rivas Asanza, y otros, 2018).



**Figura 15-2.** Esquema de red neuronal multicapa.

Realizado por: Enriquez Esdras, 2023

### 2.2.3 Técnicas de Machine Learning

En el proceso de modelización se realiza una primera fase de knowledge discovery o también relacionada a la fase de interpretación de información, en donde se separa los datos necesarios para entrenar al algoritmo y que así pueda encontrar los patrones necesarios para hacer las predicciones. Dentro de este proceso se realizan las siguientes tareas:

**Entendimiento de los datos:** Se trata de una preparación inicial y análisis descriptivo de los datos, es decir un análisis de calidad de la información, en la cual se descarta información que pueda llegar a reducir el entrenamiento de los algoritmos.

**Preparación de los datos:** Consiste en una limpieza o tratamiento de los datos, se incluye los datos perdidos, valores atípicos, registros erróneos o inconsistentes, además análisis multivariante, combinación o creación de nuevas variables a partir de las existentes, eliminación de variables redundantes entre otras tareas.

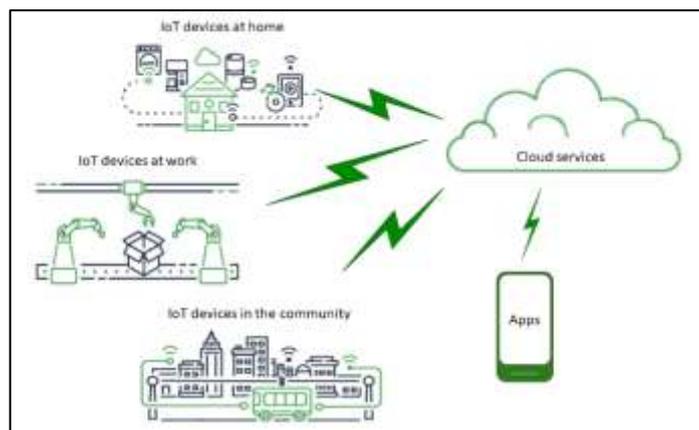
Selección de la técnica apropiada y aplicación de procesos de regularización: En este punto se transforman los datos y se preparan para la modelización. Para esto se puede considerar lo siguiente:

- Homogenización del rango de las variables
- Identificación de variables relevantes

### 2.3 Internet de las Cosas

Es una red de múltiples dispositivos conectados y a la tecnología que permiten la comunicación entre dispositivos y la nube. Un sistema IoT funciona mediante la recolección e intercambio de datos en tiempo real, los dispositivos inteligentes son capaces de recopilar datos del entorno enviando los datos a través de internet y presentar la información en plataformas o aplicaciones IoT. Los dispositivos industriales convencionales no cuentan con tecnología IoT ya que no fueron diseñados con ese propósito, por lo tanto, incorporar herramientas que permitan recolectar datos permitirá mejorar los procesos de producción, reducir los costos y mejorar la eficiencia de una planta. Los datos recolectados y los históricos de funcionamiento permiten aplicar técnicas de aprendizaje automático o inteligencia artificial para predecir comportamientos futuros y detectar patrones. (Amazon Web Services Inc, 2023)

En la Figura 16-2, se puede observar una arquitectura básica de IoT, en una casa donde se presentan múltiples dispositivos inteligentes conectados a la nube los cuales se puede controlar y supervisar mediante una aplicación móvil. En la industria el IoT se encarga de supervisar los procesos, determinar eventos o productos completados.



**Figura 16-2.** Arquitectura de una red IoT.

Fuente: (Amazon Web Services Inc, 2023)

### **2.3.1 DataSets**

Al aplicar tecnologías como IoT se genera grandes cantidades de datos o BigData, mediante los datasets la información es almacenada en conjuntos tabulados mediante tablas con etiquetas que permiten identificar el origen de la información. Los datasets son la base de conocimiento para la inteligencia artificial y machine learning.

Para el desarrollo del proyecto se generarán datasets de las magnitudes eléctricas fundamentales como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia, además de los valores de consumo de energía los cuales se utilizarán como base de conocimiento para el machine learning.

### **2.3.2 Pasarela IoT**

Una pasarela IoT es un dispositivo que permite conectar a otros dispositivos a una red IoT, la función de una pasarela es actuar como un puente entre los dispositivos físicos e internet o la nube, lo que permite gestionar los datos y supervisar a los dispositivos (Siemens, 2023). La empresa Siemens cuenta con pasarelas IoT similares a una tarjeta de desarrollo como una raspberry o una tarjeta ESP3286.

#### **2.3.2.1 Simatic IoT2000**

Es una Interfaz Inteligente para el internet de las cosas con la que se puede conectar dispositivos, sensores o maquinas hacia la nube adaptando una producción de industria 4.0 para hacer más eficiente los procesos. Con la Interfaz inteligente se puede recolectar, analizar y transferir los datos a la nube bajo numerosos protocolos de comunicación como el protocolo S7 propio de siemens, Modbus TPC/IP, MQTT. En la Figura 17-2, se puede observar la pasarela IoT presenta entradas y salidas igual que una tarjeta de desarrollo Arduino para ambientes industriales. (Siemens, 2023)

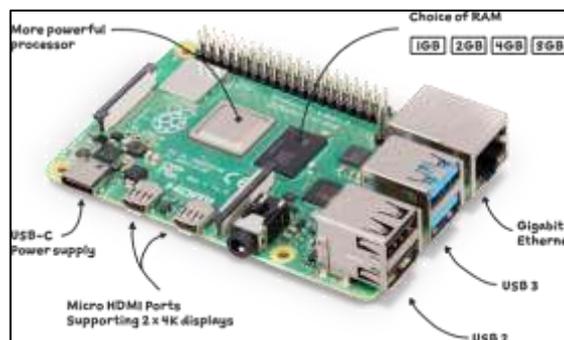


**Figura 17-2.** Pasarela IoT Simatic IoT2000.

Fuente: (Siemens, 2023)

### 2.3.2.2 Raspberry Pi 4

Las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi como se observa en la Figura 18-2, cuentan con un procesador de cuatro núcleos de 64 bits lo que ofrece grandes velocidades de procesamiento, memoria y conectividad a Internet gracias a su puerto LAN Gigabit Ethernet, modulo wifi y bluetooth. Una raspberry puede ser utilizada como una pasarela IoT aun que cuenta tanta capacidad de procesamiento puede actuar como una puerta de enlace IoT conectar múltiples dispositivos o sensores y recolectar los datos para enviarlos a la nube (Raspberry Pi Ltd, 2019 págs. 5-8). Las tarjetas raspberry son una solución economía en comparación de las pasarelas IoT industriales.



**Figura 18-2.** Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4.

Fuente: (Raspberry Pi Ltd, 2019)

### 2.3.2.3 ESP3286

Las tarjetas de desarrollo ESP32 cuentan con procesador de 32 bits de doble núcleo, cuenta con una comunicación Wifi y Bluetooth de bajo consumo de energía. La tarjeta ESP3286 puede ser una buena opción para soluciones IoT en la Figura 19-2, se puede observar la tarjeta de desarrollo ESP3286



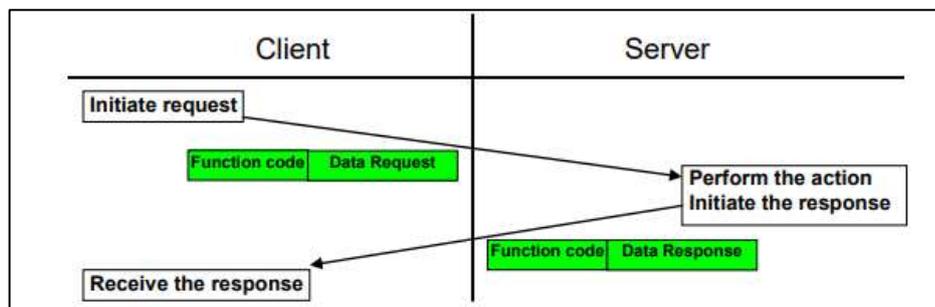
**Figura 19-2.** Tarjeta de desarrollo esp3286.

**Fuente:** (Espressif Systems, 2018)

### 2.3.3 Protocolo de comunicación Modbus TCP/IP

El protocolo de comunicación Modbus es una estructura de mensajería para establecer la comunicación cliente – servidor entre distintos dispositivos en diferentes buses de datos o redes, muy utilizado en entornos industriales para monitorear y programar dispositivos inteligentes, instrumentos de medición y sensores. Modbus TPC/IP utiliza los protocolos de Internet para el transportar los datos entre distintas maquinas, lo que permite a las fábricas una verdadera integración con el Internet de las Cosas (IoT). Modbus se utiliza principalmente para el intercambio de información entre dispositivos debido a que también es un protocolo de solicitud – respuesta lo que ofrece servicios únicos a través de los códigos de función (Modbus, 2012 págs. 3-20).

En la Figura 20-2, se puede observar el modelo de comunicación entre un cliente y servidor, el cliente inicia la transmisión, mediante el código de función se indica al servidor la acción que va a realizar, en el campo de datos el cliente envía información adicional al servidor para realizar la petición. Si no existe ningún error relacionado al código de función el servidor envía una respuesta a un cliente que contiene los datos solicitados (Modbus, 2012 págs. 3-20).



**Figura 20-2.** Transmisión de datos Modbus.

**Fuente:** (Modbus, 2012 pág. 4)

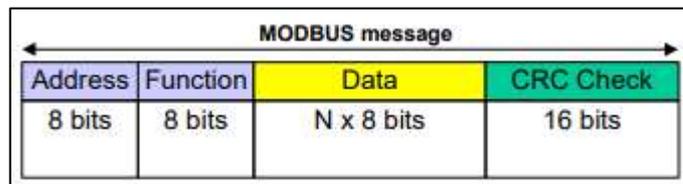
Modbus maneja cuatro tipos principales de modelos de datos como se puede observar en la Tabla 6-2, las bobinas pueden ser consideradas como salidas digitales o variables tipo booleanas, mientras que las entradas discretas corresponden a las entradas digitales, los registros de retención corresponden a las variables de memoria de tipo Word que se almacenan en dos registros 16 bits y los registros de entrada que corresponde a las señales analógicas de entrada.

**Tabla 6-2.** Modelo de datos Modbus

Bloque de memoria	Bits	Función	Dirección
Bobina	1 bit	Lectura y Escritura	0x01
Entrada Discreta	1 bit	Solo lectura	0x02
Registro de retención	16 bits Word	Lectura y escritura	0x04
Registro de entrada	16 bits Word	Solo lectura	0x03

Fuente: (Modbus, 2012)

El tamaño de la trama de los mensajes Modbus se puede observar en la Figura 21-2, compuesto de una cabecera para la dirección IP de 8 bits, el código de función como se presenta en la Tabla 6-2, la información del registro con un máximo de 252 bytes y la comprobación de errores CRC con 16 bits.



**Figura 21-2.** Tamaño del mensaje Modbus

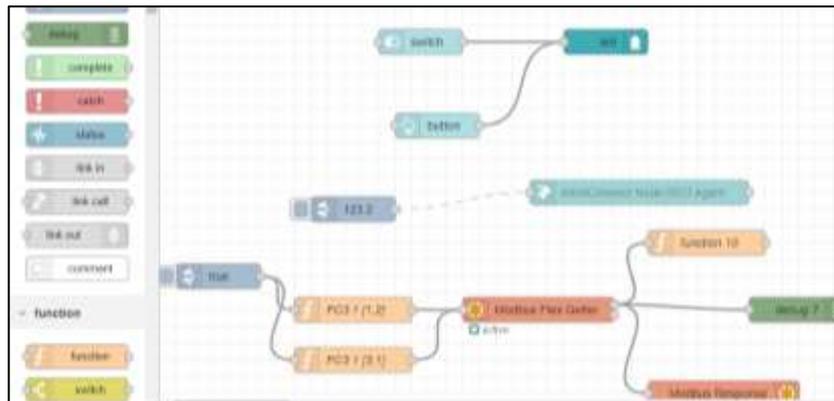
Fuente: (Modbus, 2012)

### 2.3.4 Plataformas IoT web

Las plataformas web son utilizadas para la visualización, procesamiento y gestión de datos generados a través de herramientas IoT, las plataformas permiten transmitir información utilizando los protocolos estándar en Internet con el fin de generar datos que servirán como fuente de conocimiento para la inteligencia artificial o machine learning.

#### 2.3.4.1 Node-Red

Node-Red es una herramienta de programación que permite conectar dispositivos de hardware a aplicaciones web o en línea, además proporciona un editor de flujos utilizando una paleta de nodos lo que permite ejecutar programas con poca programación. Node-Red está basado en Node.js aprovecha al máximo el modelo sin bloque basado en evento lo que lo hace ideal para ejecutarse en el borde de la red en dispositivos de bajo costo como Raspberry Pi (OpenJS Fundation, 2023). En la Figura 22-2, se puede observar la plataforma Node-Red junto con los nodos en modo de bloque y una paleta de selección con los nodos disponibles.



**Figura 22-2.** Plataforma de desarrollo Node-Red.

Fuente: (OpenJS Fundation, 2023)

#### 2.3.4.2 *ThingSpeak*

ThingSpeak es una plataforma para el análisis de IoT, el servicio permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. Se puede enviar datos a ThingSpeak desde distintos dispositivos, permite visualizar de forma instantánea datos en vivo y envío de alertas utilizando servicios web como Twitter. ThingSpeak puede escribir y ejecutar código de MATLAB para realizar preprocesamiento, visualizaciones y análisis de datos (Matlab, 2023). En la Figura 23-2, se observa la plataforma ThingSpeak junto a los datasets generados para la visualización de datos.



**Figura 23-2.** Plataforma ThingSpeak de Matlab.

Fuente: (Matlab, 2023)

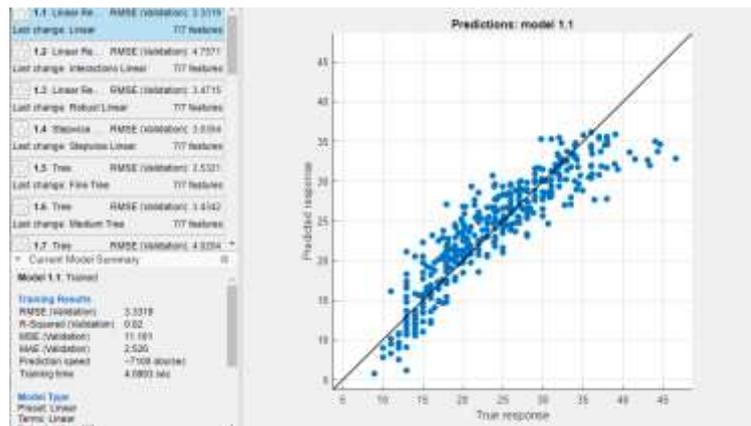
### 2.3.5 Lenguajes Programación

#### 2.3.5.1 Python

El lenguaje de programación Python es considerado de alto nivel utilizado en la mayoría de las aplicaciones comerciales, el aprendizaje automático (Machine Learning) es un campo de la informática que utiliza técnicas estadísticas para dar solución a diversos problemas, con Python se han desarrollado múltiples librerías para el desarrollo de ML como: TensorFlow, Scikit-Learn, Pandas, Numpy etc., que permiten implementar modelos de regresión o de clasificación de forma sencilla ya que cuenta con tutoriales, librerías y foros donde se realizan ejemplos de los modelos de machine learning más comunes (Python Software Foundation, 2023).

#### 2.3.5.2 MATLAB

Matlab ofrece un Toolbox para Estadística y machine Learning la cual proporciona funciones, aplicaciones para analizar y generar modelos de datos. Cuenta con algoritmos de regresión y de clasificación para extraer inferencias en los datos y crear modelos predictivos de forma interactiva. El Toolbox proporciona algoritmos de Machine learning de aprendizaje supervisado, semi supervisado y no supervisado, incluye máquinas de soporte vectorial (SVM), árboles de decisión, redes neuronales superficiales, algoritmos de K-means y otros métodos de clasificación (The MathWorks, 2023). En la se puede Figura 24-2, observar un ejemplo del toolbox de Matlab con un modelo de regresión lineal.



**Figura 24-2.** Toolbox de Matlab Statistics and Machine Learning.

**Fuente:** (The MathWorks, 2023)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLOGICO

### **3.1 Tipo de Investigación**

El presente trabajo de integración curricular corresponde a un proyecto técnico el cual tiene la finalidad de analizar el consumo de energía eléctrica y predecir el factor de potencia presente en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica, utilizando diversos dispositivos que permitirán determinar los parámetros eléctricos fundamentales, conexión hacia la nube y brindar servicio de internet de las cosas (IoT).

### **3.2 Variables de procesamiento**

Por medio de un medidor de energía se analizará las magnitudes eléctricas fundamentales en baja tensión como: voltaje, corriente, potencia y factor de potencia, los valores medidos serán almacenados y guardados datasets en la nube, las mismas que se utilizarán para predecir el factor de potencia.

### **3.3 Población y Muestra**

La obtención de datos se realiza por medio de una pasarela IoT (Raspberry Pi 4), con un intervalo entre muestras de 20 segundos. Se guardará los datos de las variables en la nube generando datasets desde el 3 de mayo hasta el 3 de julio en condiciones normales de funcionamiento del laboratorio. Los valores o comportamientos atípicos del sistema se deberán discretizar o descartar. El dataset generado es utilizado para el entrenamiento de los algoritmos de predicción, un nuevo dataset será utilizado para evaluar y validar los algoritmos.

### **3.4 Arquitectura del sistema**

El desarrollo del proyecto está dividido en cinco etapas las cuales se puede observar en la Figura 1-3. La primera etapa corresponde a la identificación de la línea de alimentación y el tablero eléctrico principal del laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica. La etapa siguiente corresponde a la instalación del medidor de energía eléctrica, junto con la configuración y puesta en funcionamiento del dispositivo. En la siguiente etapa se realiza la adquisición de datos a través de una pasarela IoT, los datos del medidor de energía se envían a la nube a una plataforma que permite almacenar y generar datasets, además se realiza una preparación y procesamiento de los datos. La siguiente etapa corresponde a la aplicación de algoritmos de machine learning para realizar la predicción del factor de potencia en la cual se utilizarán modelos de: Redes Neuronales, Regresión Lineal Múltiple y Bosque Aleatorio

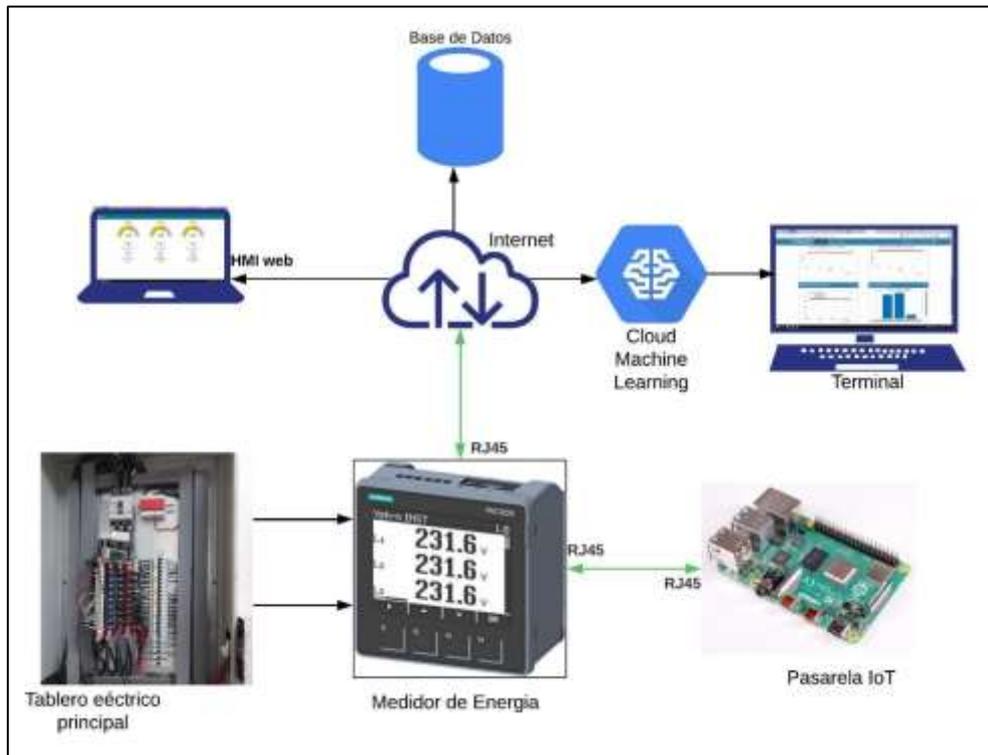
(Random Forest). La última etapa corresponde al almacenamiento de información en la nube y el desarrollo de la interfaz HMI en la web.



**Figura 1-3.** Mapa de proceso para predecir el factor de potencia.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En la Figura 2-3, se puede observar la concepción del sistema, donde se ha integrado múltiples dispositivos como un medidor de energía digital, una pasarela IoT para realizar la adquisición y envío de datos a la nube, además se presenta una interfaz HMI web para supervisar las magnitudes eléctricas fundamentales. El procesamiento de datos y desarrollo de algoritmos se encuentran en la nube.



**Figura 2-3.** Arquitectura del sistema.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.5 Requerimientos del sistema

- Identificar la línea de alimentación y el tablero eléctrico principal del laboratorio, número de circuitos, capacidad de corriente y potencia de trabajo.
- Seleccionar un medidor de energía que cumpla con los requerimientos del sistema.
- Realizar la adquisición de datos a través de una pasarela IoT empleando una tarjeta de desarrollo de bajo costo que permita garantizar el envío de datos a la nube los cuales serán tabulados, preparados y procesados.
- Desarrollar la programación de algoritmos de machine learning para predecir el factor de potencia.
- Desarrollar una interfaz web que permita presentar las variables eléctricas en tiempo real y realizar el almacenamiento de las variables en la nube.

### 3.6 Línea de alimentación

La Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A (EERSSA) es la encargada de supervisar y monitorear el consumo de energía eléctrica. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) cuenta con una línea de alimentación trifásica instalada en el poste 104314 como se indica en la Figura 3-3, donde se observa la referencia geográfica de la instalación de la línea del alimentador

ALIM-0301, además de un medidor de media tensión con una tarifa correspondiente a: Beneficio Público con Demanda Horaria como se indica en el Anexo A.



**Figura 3-3.** Referencia Geográfica de la línea de la alimentación ESPOCH

**Fuente:** <https://www.google.com/maps/@-1.6593076,-78.6756362,273m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>

**Tabla 1-3.** Acometida eléctrica ESPOCH

<b>Alimentador</b>	ALIM-0301
<b>Medidor de media tensión</b>	221953
<b>Voltaje</b>	13.8 kV
<b>Configuración Conductores</b>	3F3C
<b>Numero de poste</b>	104314
<b>Referencia Geográfica</b>	758.641,12
	9.816.403,42

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

El Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica cuenta con un transformador trifásico tipo Padmounted de 50 kVA, en la Figura 4-3, se observa la información de la red de alimentación proporcionada por la EERSA en la plataforma GEOPORTAL.



**Figura 4-3.** Referencia geográfica del transformador trifásico Padmounted.

Fuente: (EERSA, 2023)

En la Tabla 2-3, se presenta las características del transformador trifásico tipo Padmounted el cual alimenta al tablero eléctrico principal del laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica.

**Tabla 2-3.** Características del Transformador trifásico Padmounted.

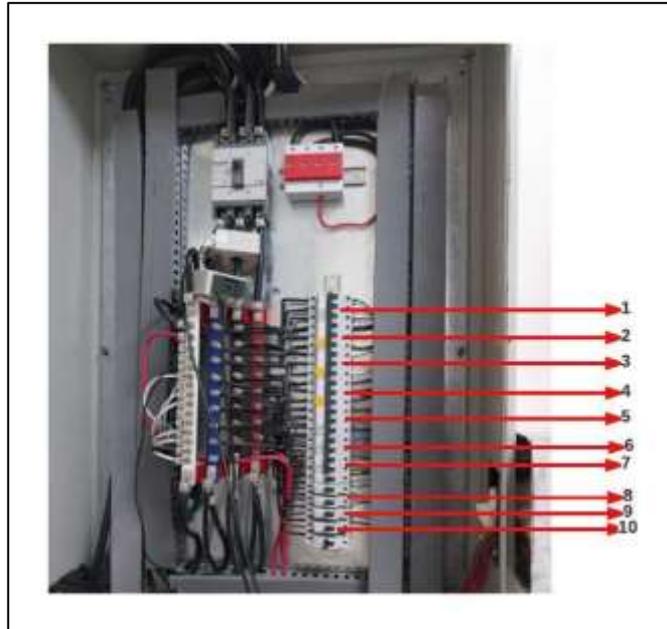
<b>Alimentador</b>	ALIM-0301(ESPOCH)
<b>Empresa</b>	EERSA
<b>Tipo</b>	Padmounted Trifásico Exterior
<b>Código</b>	21260
<b>Potencia</b>	50 kVA
<b>Configuración</b>	Delta - Estrella
<b>Voltaje</b>	13.8 kV – 220 V
<b>Tipo de red</b>	Subterránea
<b>Código Conductor</b>	15kV.Cu.1/0
<b>Configuración Conductores</b>	3F4C

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.6.1 Tablero Principal

El suministro de energía eléctrica proviene de un transformador trifásico Padmounted, el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica cuenta con un tablero eléctrico principal el cual presenta un termomagnético de protección de 60 A, además

presenta una rejilla y barras de cobre para las líneas de alimentación y neutro; una barra adicional para la tierra. El tablero se divide en diez circuitos entre los cuales se pueden identificar: circuitos para tomacorrientes, iluminación, cargas especiales y tableros secundarios como se indica en la Figura 5-3.



**Figura 5-3.** Tablero eléctrico principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

**Tabla 3-3.** Circuitos del tablero eléctrico principal

N°	Circuito	Conductor	Protección
1	Alimentación SentronPAC3220	3F#16 + 1N#16	3P – 5 A
2	Tablero de laboratorio de Maquinas Eléctrica	3F#8 + 1N#10 + GND	3P – 40 A
3	Tablero de laboratorio de laboratorio de Prototipado	3F#8 + 1N#10 + GND	3P – 40 A
4	Tablero de laboratorio de Industria 4.0	3F#8 + 1N#10 + GND	3P – 40 A
5	Tomacorrientes laboratorio de Robótica	3F#8 + 1N#10 + GND	3P – 40 A
6	Iluminación laboratorio Robótica	2F#8 + 1N#10 + GND	2P – 32 A

7	Ventilación	2F#8 + 1N#10 + GND	2P – 32 A
8	Tomacorrientes Adicionales	2F#8 + 1N#10 + GND	1P – 32 A
9	Sistema de Seguridad	1F#8 + 1N#10	1P – 32 A
10	Iluminación Exterior	1F#8 + 1N#10	1P – 32 A

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7 Selección del Medidor de Energía

Para el desarrollo del proyecto se ha seleccionado el medidor de energía SentronPAC3220 ya que permite determinar las magnitudes eléctricas fundamentales en baja tensión como: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, valores máximo y mínimos, valores de energía importada y exportada mediante un contador de diario y mensual, además posee una interfaz web para el monitoreo y registro de energía, cuenta con dos puertos RJ45 que trabajan como un switch para conectar otros dispositivos, además trabaja con el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP para realizar el envío de los datos. El medidor de energía se instaló en un gabinete adicional junto al tablero principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica como se indica en la Figura 6-3. En el Anexo B se puede consultar las características del medidor de energía SentronPAC3220.

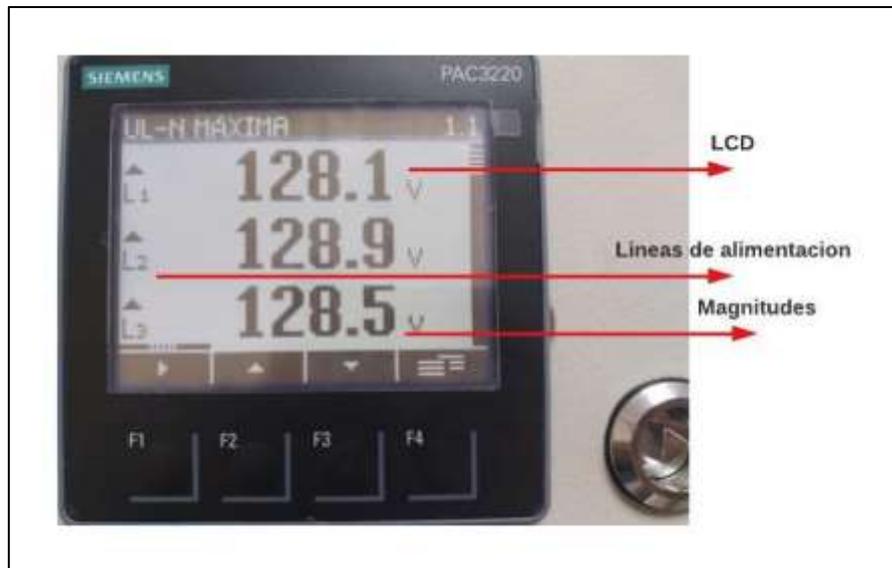


**Figura 6-3.** Instalación del Medidor de Energía SENTRON PAC3220.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

#### 3.7.1 Elementos de Indicación

En la parte frontal del multímetro cuenta con una pantalla LCD en la cual se puede observar la línea de tensión y las magnitudes medidas como se puede observar en la Figura 7-3.



**Figura 7-3.** Pantalla Principal del Medidor de Energía SentronPAC3220.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7.2 Configuración de dispositivo

El dispositivo puede alimentarse con una tensión de entrada de 120 /220 V AC. Para poner en marcha al dispositivo se debe configurar los parámetros iniciales. Al encender el dispositivo por primera vez se deberá configurar el idioma, la fecha y hora, tipo de conexión para medición de voltaje y corriente y dirección IP.

#### 3.7.2.1 Selección de Idioma

Al encender el dispositivo por primera vez se muestra la pantalla de selección de idioma, para seleccionar se debe utilizar los botones F2, F3 para navegar en el menú y F4 para seleccionar y editar, además en el menú de idioma presenta la forma en la que se identifican las fases como L1, L2 y L3 respectivamente.



**Figura 8-3.** Puesta en marcha del Medidor de Energía

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7.2.2 Establecer fecha y hora

En el siguiente menú se deberá establecer la fecha, hora y zona horaria correspondiente como se indica en la Figura 9-3, para poder determinar los parámetros de consumo de energía.

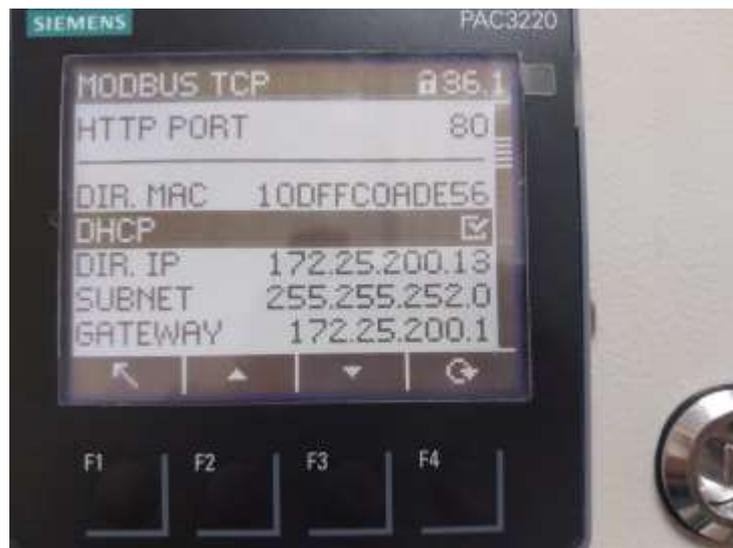


**Figura 9-3.** Parámetros de fecha y hora del medidor de energía.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7.2.3 Dirección IP

El dispositivo utiliza el protocolo de comunicación modbus por lo que se necesita establecer una dirección IP, se puede configurar una dirección IP fija o utilizar el servicio de DHCP como se indica en la Figura 10-3. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) cuenta con un servidor DHCP que permite asignar las direcciones IP de forma automática, la dirección IP asignada para el dispositivo es 172.25.200.13 lo que permitirá acceder de forma remota al dispositivo.

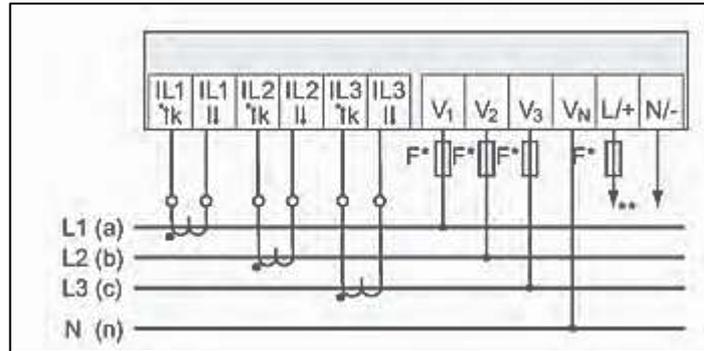


**Figura 10-3.** Asignar una dirección IP al medidor de Energía.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7.3 *Medición de voltaje y corriente*

Para realizar la medición en una distribución trifásica es necesario contar la configuración tipo 3P4W (3 fases 4 conductores) como se indica en la Figura 11-3, especial cuando se presentan cargas desbalanceadas, sin utilizar transformadores de voltaje con tres transformadores de corriente. La medición del voltaje se realiza de forma directa de la red en cada una de las líneas y el neutro junto con termomagnéticos de protección en cada línea.



**Figura 11-3.** Esquema de conexión 3P4W para el medidor de energía.

Fuente: (SIEMENS AG, 2019)

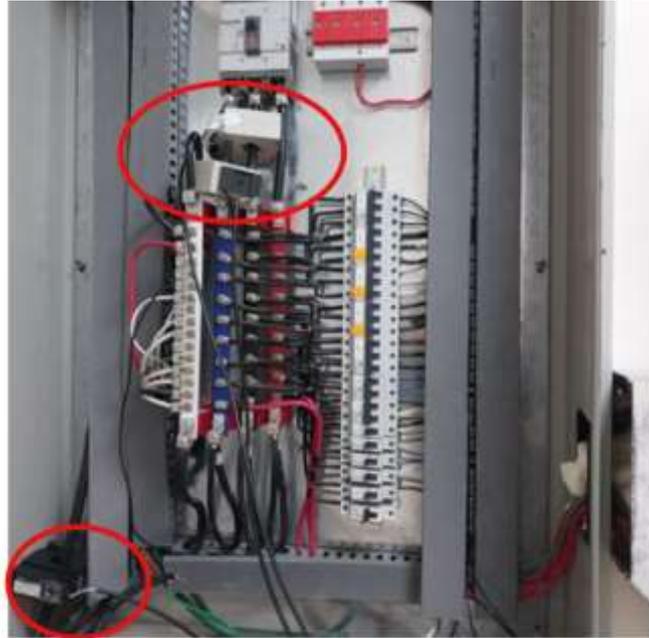
En el Medidor de Energía SentronPAC3220 se debe configurar las entradas de tensión como se indica en la Figura 12-3.



**Figura 12-3.** Entradas de Tensión del Medidor de Energía.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

La medición de corriente se realiza en los cables principales del tablero eléctrico del laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la FIE, por medio de dos transformadores de corriente (TC) de núcleo cerrado y un TC de núcleo abierto como se observa en la Figura 13-3, la instalación de los TCs en las líneas de alimentación.



**Figura 13-3.** Instalación de Transformadores de Corriente

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En el Medidor de Energía SentronPAC3220 se deberá configurar las entradas de corriente como se indica en la Figura 14-3, los TCs utilizados tienen una transformación de 150/5 A.

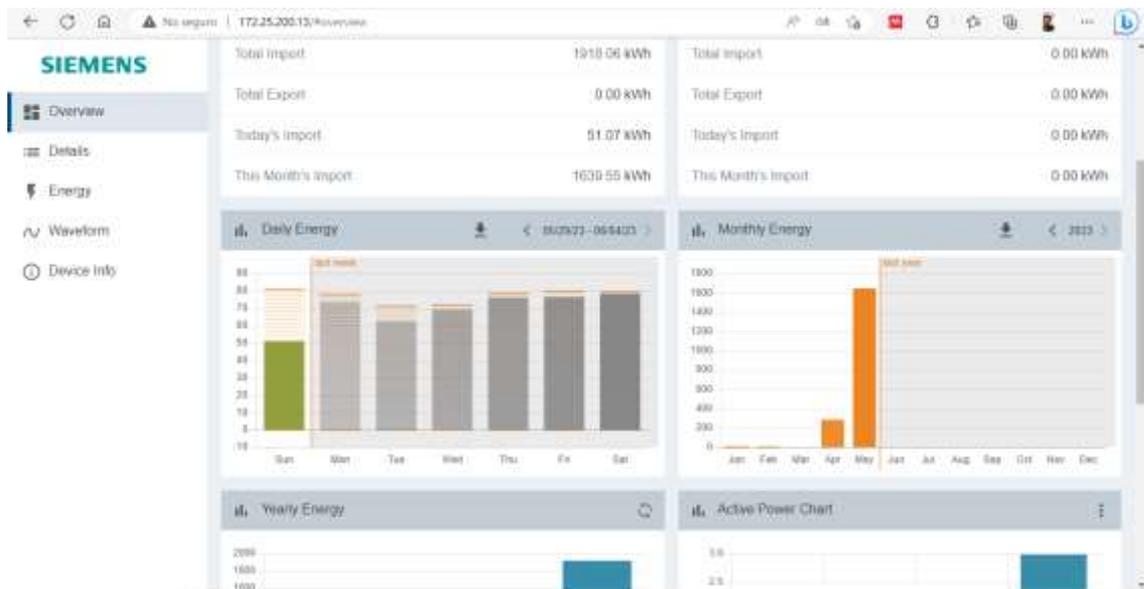


**Figura 14-3.** Configuración de la entrada de corriente.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.7.4 Plataforma web

El Medidor de energía SentronPAC3220 de SIEMENS cuenta con una plataforma web la cual indica los valores de energía consumida diaria, semanal, mensual, así como las variables eléctricas medidas como se indica en la Figura 15-3, para acceder a la interfaz se debe permanecer en la red del laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la FIE ya que no se permite el acceso de forma remota.



**Figura 15-3.** Plataforma web Medidor de energía SentronPAC3220.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 3.8 Adquisición de datos

Los datos generados por el Medidor de Energía SentronPAC3220 son enviados a la nube por medio de una tarjeta de desarrollo Raspberry PI 4 como pasarela IoT.

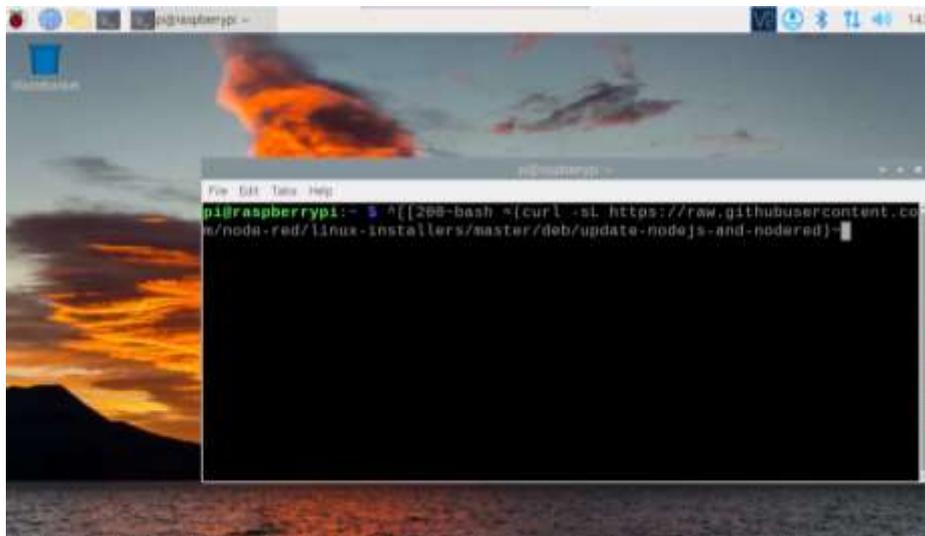
#### 3.8.1 *Raspberry PI 4 como pasarela IoT*

Para el desarrollo del presente proyecto se ha utilizado una Raspberry Pi 4 como pasarela IoT, la cual permite realizar la adquisición de datos del medidor de energía a través de la interfaz RJ-45 y sobre el protocolo de comunicación Modbus TPC/IP, además permite enviar la información a la nube y enviar los datos a la interfaz web.

##### 3.8.1.1 *Instalación de Node-Red*

Para instalar el software de Node-Red en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 se debe acceder al terminal y ejecutar el siguiente comando como se indica en la Figura 16-3:

“bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)”.

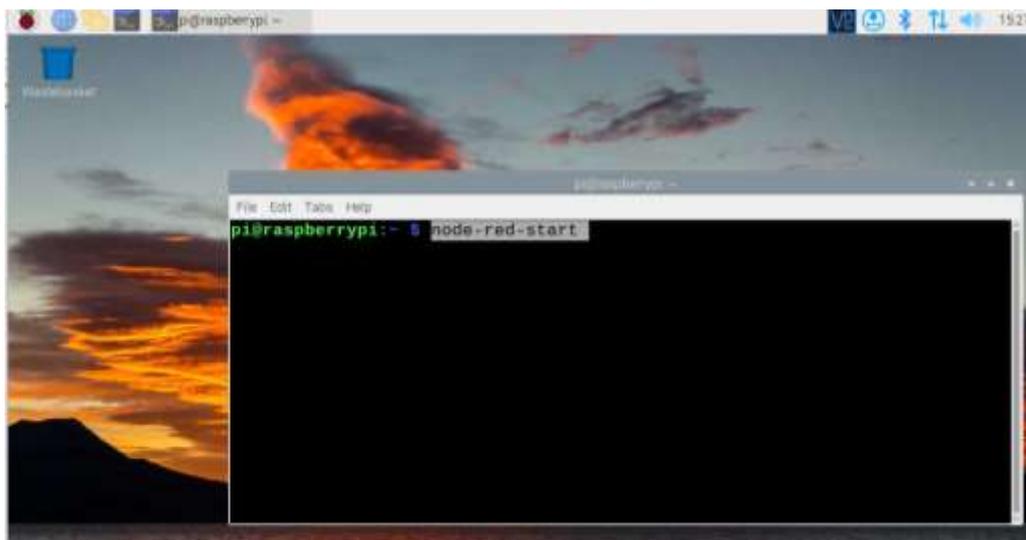


**Figura 16-3.** Instalación de Node-red en la tarjeta Raspberry Pi 4.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.8.1.2 Programación en Node-Red

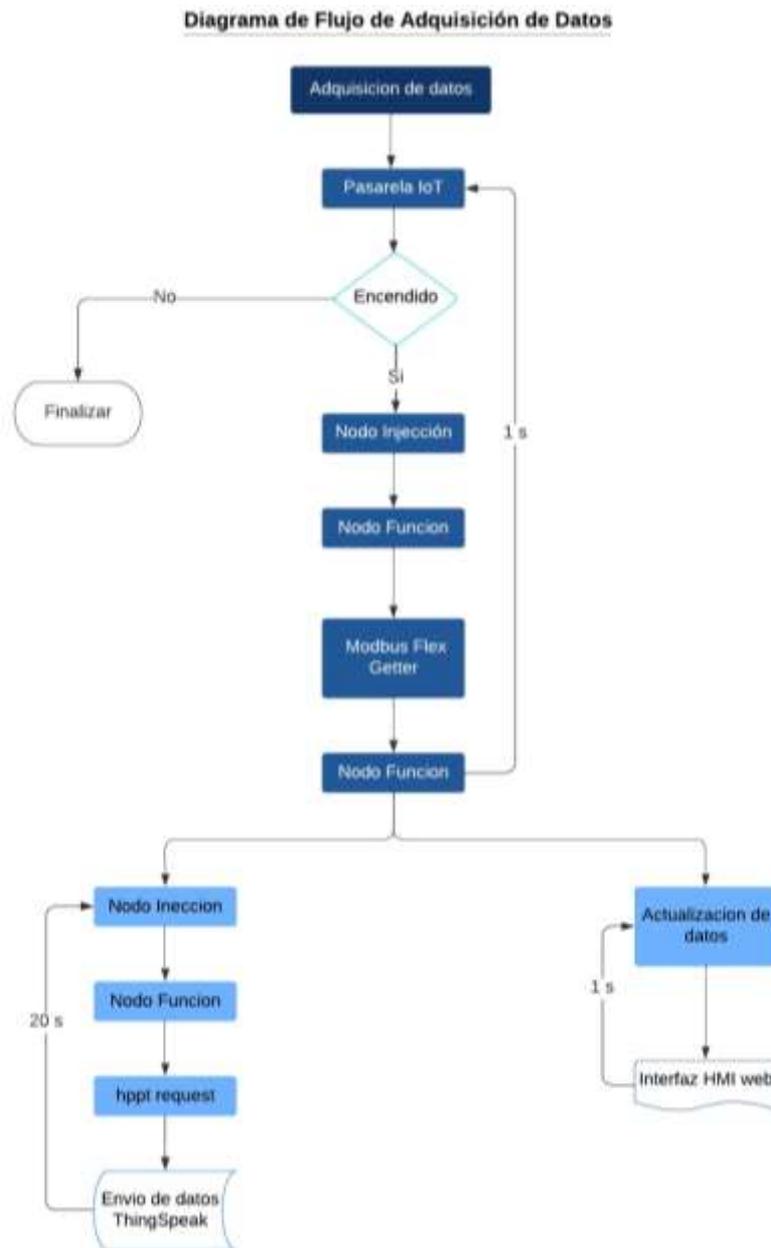
Una vez instalado Node-red en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4, se debe escribir en el terminal el comando para iniciar el programa: “node-red-start” como se indica en la Figura 17-3.



**Figura 17-3.** Ejecutar Node-red en Raspberry Pi 4.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

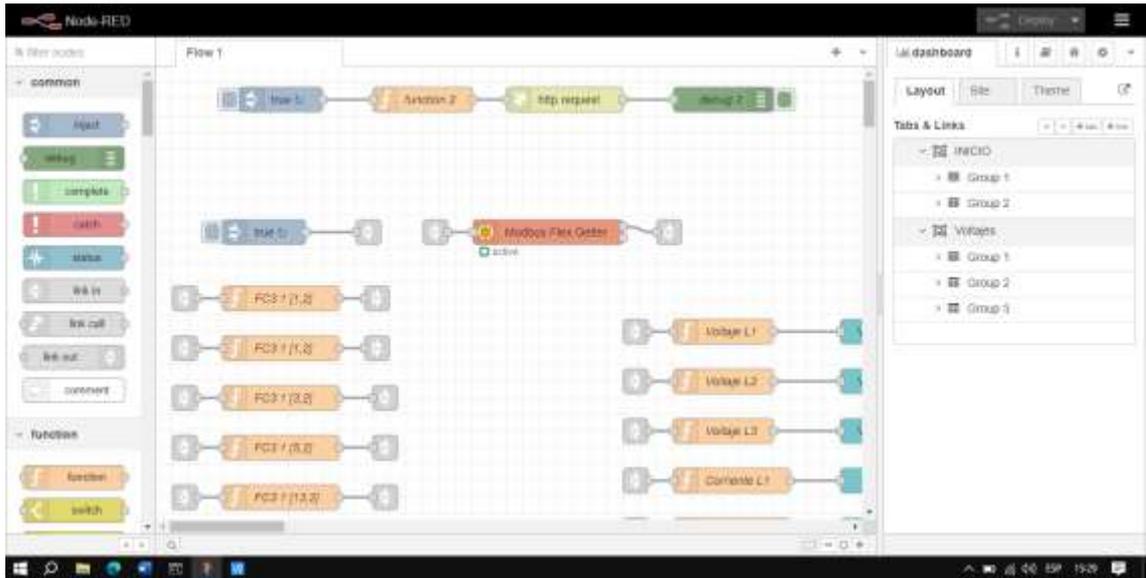
Node-red cuenta con bloques propios que permiten realizar la adquisición de datos del medidor de energía por medio del protocolo de comunicación Modbus. En la Figura 18-3, se observa el diagrama de Flujo para el proceso de adquisición de datos, publicación de datos en ThingSpeak y la actualización de datos en la interfaz web.



**Figura 18-3.** Diagrama de flujo de proceso de adquisición de datos.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En la Figura 19-3, se indica la programación de Node-red en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 y la descripción de cada bloque.



**Figura 19-3.** Programación en Node-Red.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 3.8.1.3 Bloques de función

**Nodo Modbus Flex Getter:** El nodo de lectura permite configurar los parámetros de Modbus como se indica en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3.** Configuración del Nodo Modbus Flex Getter

Parámetros	Configuración
Tipo	Modbus TCP
IP	172.25.200.13
Puerto	502
ID de Unidad	1
Tiempo	1000 ms

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

**Nodo Inject:** El nodo permite ingresar un mensaje al flujo de tipo booleano, además se configura para que trabaje en intervalos regulares de 1 segundo lo que permite actualizar los valores en el periodo de tiempo determinado.

**Nodo Function:** El programa de adquisición de datos cuenta con dos diferentes nodos de función: El primer nodo se utiliza para definir los parámetros de lectura del Modbus como se indica en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3.** Parámetros de programación del Nodo Function

Parámetro	Configuración
Código de función	3
ID de unidad	1
Dirección Modbus	1-69
Numero de Registros	2

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En el Nodo de función se programa con el siguiente código:

```
1  msg.payload = {  
2    value: msg.payload,  
3    'fc': 3,  
4    'unitid': 1,  
5    'address': 1,  
6    'quantity': 2 }  
7  return msg;
```

**Figura 20-3.** Programación del nodo de Function.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En cada nodo de función se programa con las direcciones modbus utilizadas se presentan en la Tabla 6-3, con el código de función 0x03 solo lectura de registros de entrada. Para entradas adicionales y otras direcciones modbus consultar el Anexo C

**Tabla 6-3.** Direcciones Modbus para el código de función **0x003**.

Función	Dirección Modbus
Voltaje L1	1
Voltaje L2	3
Voltaje L3	5
Corriente L1	13
Corriente L2	15
Corriente L3	17
Potencia Activa L1	25
Potencia Activa L2	27
Potencia Activa L3	29
Potencia Reactiva L1	31
Potencia Reactiva L2	33
Potencia Reactiva L3	35

Factor de potencia L1	37
Factor de potencia L2	38
Factor de potencia L3	39
Corriente Media	61
Potencia Activa Total	65
Potencia Reactiva Total	67
Factor de Potencia Total	69

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

El segundo nodo de función permite transformar los datos de formato flotante a numérico con dos decimales. En la Figura 21-3, se observa la programación del nodo de función que cuenta con una estructura switch – case para identificar la dirección modbus.

```

1  switch (msg.modbusRequest.address) {
2  case 1:
3      const buf = Buffer.from(msg.responseBuffer.buffer);
4      const value = buf.readFloatBE();
5      var msg1 = { payload: value };
6      msg1.payload=Number(msg1.payload.toFixed(2));
7      context.flow.voltageL1 = msg1.payload
8
9      break;
10
11 }
12 return msg1;

```

**Figura 21-3.** Programación del Nodo de Función Node-red.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

#### 3.8.1.4 *Envío de datos a la nube*

Por medio de Node-red los datos adquiridos del medidor de energía también son enviados a la base de datos de ThingSpeak la cual almacena e indica por medio de graficas la información. Los datos son enviados en intervalos de 20 segundo a la plataforma ThingSpeak utilizando el nodo “http request” el cual se programa con el siguiente código:

```

1 msg.method = "GET";
2 msg.url = "https://api.thingspeak.com/update?api_key=QTVZQH3HCJ2RNM1&field1="
3 + context.flow.voltageL1 + "&field2="
4 + context.flow.corrienteM + "&field3="
5 + context.flow.potenciaA + "&field4="
6 + context.flow.factorpotencia
7 return msg;

```

**Figura 22-3.** Programación de Nodo de Función; Enviar datos a ThingSpeak.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

Los datos enviados a la nube son: Voltaje, Corriente, Potencia y factor de potencia. En la plataforma de ThingSpeak se puede observar las gráficas de los datos enviados como se puede observar en la Figura 23-3, además los datos se encuentran disponibles en archivos .csv con la información de la hora y fecha de creación de los datos.



**Figura 23-3.** Visualización de datos en ThingSpeak.

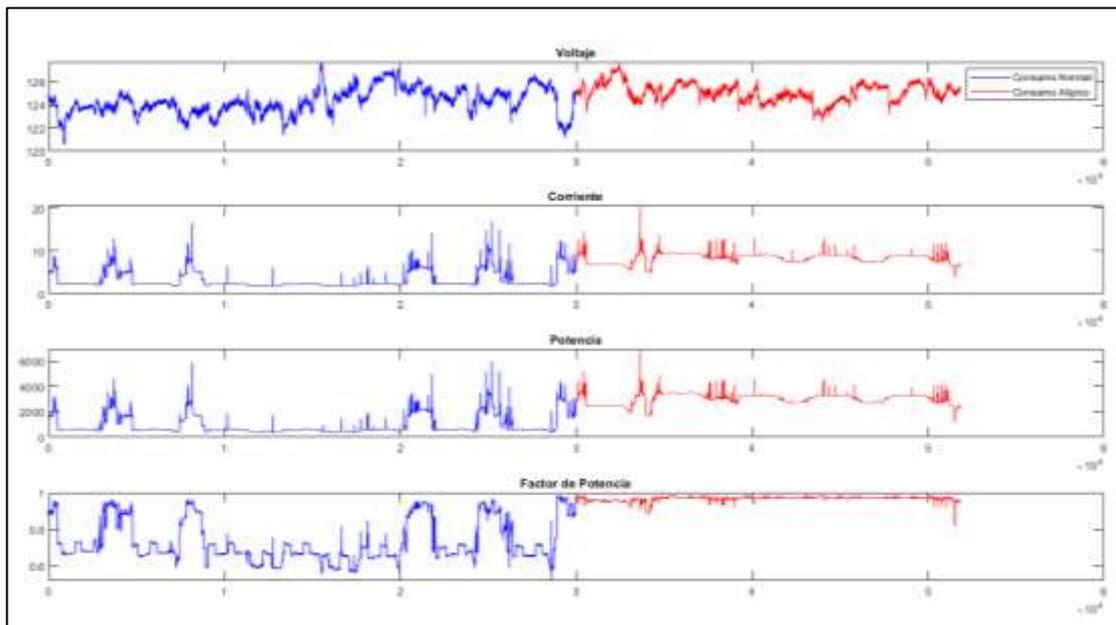
**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 3.9 Etapa Preparación y Procesamiento de datos

Los datos son almacenados en la plataforma ThingSpeak y están disponibles en el siguiente enlace: <https://thingspeak.com/channels/2107143>

Se realizó una primera inspección de los datos y se procedió a discretizar la información debido que el laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica presenta

un consumo atípico de energía por lo tanto se ha utilizado los primeros 30.000 datos correspondientes a la fecha del 3 al 10 de mayo como se observa en la Figura 24-3, los datos obtenidos de Voltaje, Corriente, Potencia y Factor de potencia, la gráfica en azul presenta el consumo normal del laboratorio mientras que la gráfica de color rojo presenta un consumo de energía atípico con un factor de potencia constante por lo que se discretiza la información y se selecciona solo el consumo normal para el entrenamiento de los algoritmos de predicción.



**Figura 24-3.** Discretización del Dataset.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

El dataset generado se utilizará para el proceso de entrenamiento y ajuste de los algoritmos de predicción del factor de potencia.

### 3.10 Gestión de interfaces web

En Node-red se ha creado una interfaz HMI web, gracias a los nodos de dashboard. En la Figura 25-3, se puede observar los nodos disponibles, los nodos utilizados son: Gauge para indicar los niveles de voltaje y el nodo Numeric el cual indica los valores obtenidos, además se presenta una gráfica de los valores medidos a través del nodo Chart.



**Figura 25-3.** Desarrollo del Dashboard en Node-red

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

La ventana principal de la interfaz web presenta los valores de voltaje medio, corriente media, potencia total y factor de potencia total como se presenta en la Figura 26-3.



**Figura 26-3.** Ventaja Principal de la interfaz web.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

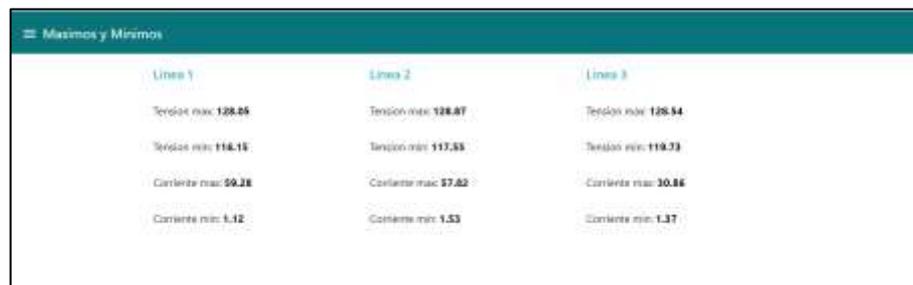
Las ventanas secundarias presentan los valores de voltaje, corriente, potencia activa y potencia reactiva y factor de potencia en cada una de las líneas como se presenta en la siguiente Figura 27-3.



**Figura 27-3.** Ventana Secundaria valores medidor por línea.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En la tercera Ventana se presenta los valores máximos y mínimos registrados por el medidor de energía.



**Figura 28-3.** Valores máximos y mínimos de interfaz web.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.11 Aplicación de algoritmos de machine learning

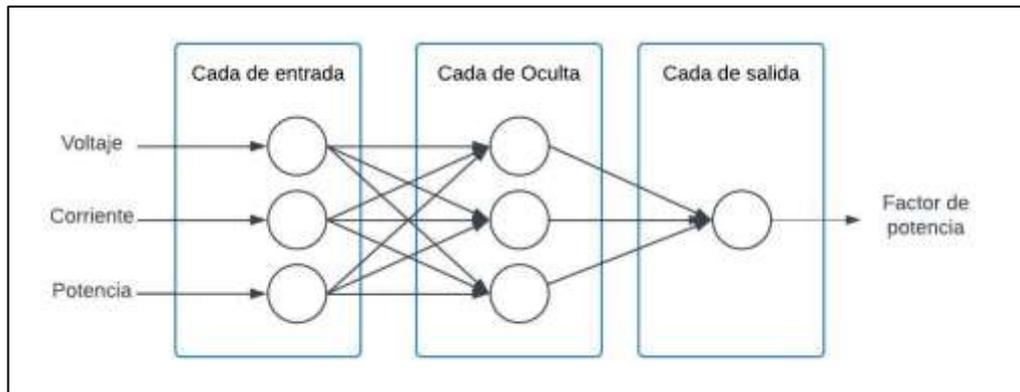
Los algoritmos desarrollados para predecir el factor de potencia son programados en Python los cuales utilizan librerías como: Scikit-Learn y Keras, Numpy, Pandas, ect. La programación se realiza en Google Colaboratory y se presenta en los Anexos D.

Los algoritmos siguen los siguientes pasos para la implementación:

1. Cargar los datos del dataset.
2. Realizar un procesamiento o transformación de los datos.
3. Definir el conjunto de entrenamiento y validación.
4. Definir el modelo (Red Neuronal, Regresión Lineal Múltiple, Bosque Aleatorio)
5. Compilar y Entrenar el modelo seleccionado.
6. Realizar la predicción.
7. Evaluar el modelo.

### 3.11.1 Red Neuronal

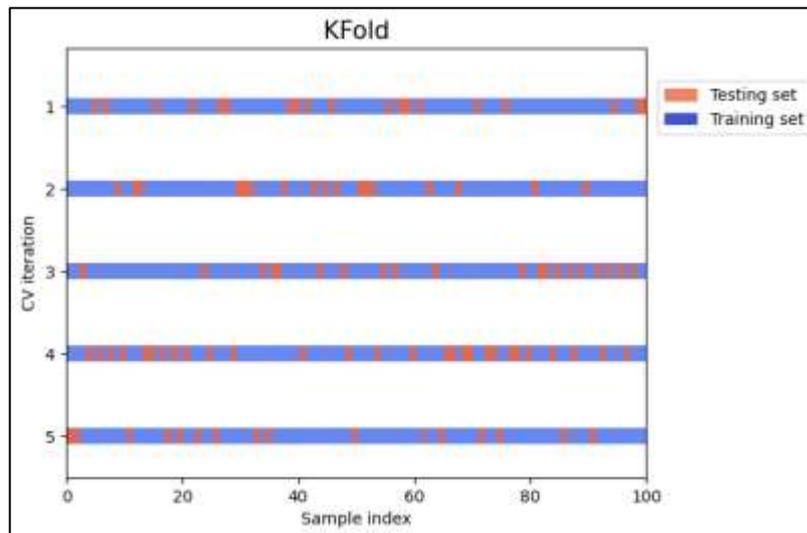
El modelo de red neuronal cuenta con una capa de entrada con tres variables: Voltaje, Corriente y Potencia, múltiples capas ocultas, mientras que en la capa de salida del modelo permite predecir el factor de potencia como se indica en la Figura 29-3.



**Figura 29-3.** Esquema de la red Neuronal.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

El proceso de entrenamiento de la red neuronal utiliza la técnica de validación cruzada (cross-validation) para generar múltiples modelos y el método de K-fold para generar datasets de entrenamiento como se indica en la Figura 30-3, se selecciona el modelo con menor error.



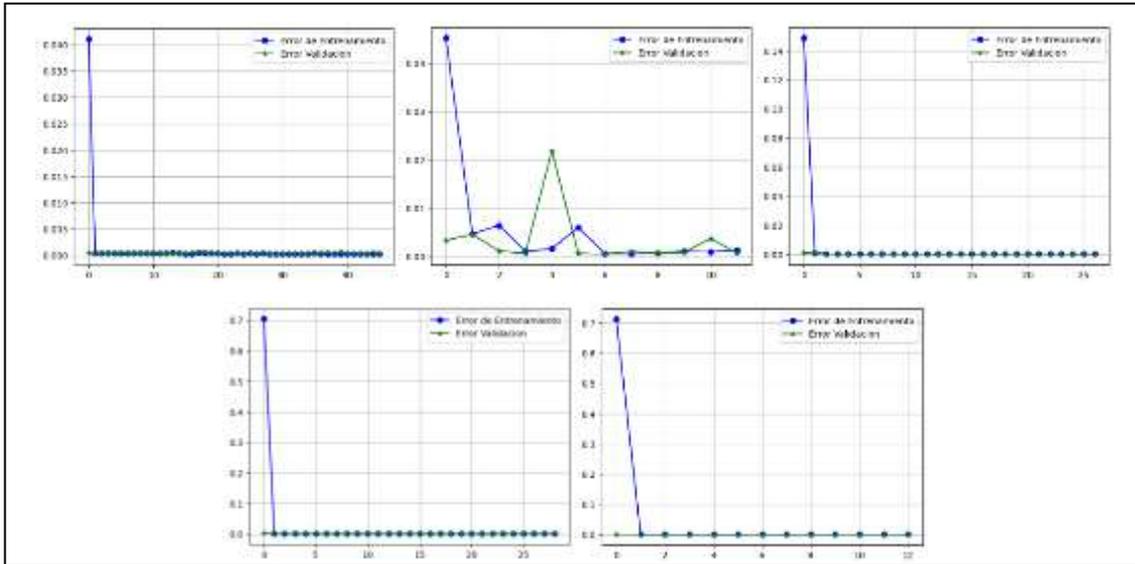
**Figura 30-3.** Dataset de entrenamiento y validación mediante K-fold.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

Se incluye la función de “EarlyStopping” para determinar el número épocas de entrenamiento sin que la red neuronal sobreajuste los datos, el proceso de entrenamiento termina cuando el error de

validación aumenta mientras que el error de entrenamiento disminuye hasta cinco épocas sin mejora.

El proceso de entrenamiento se repite cinco veces obteniendo los errores de cada modelo, además se puede observar que el número de épocas es diferente para cada modelo.



**Figura 31-3.** Error de entrenamiento y Validación.

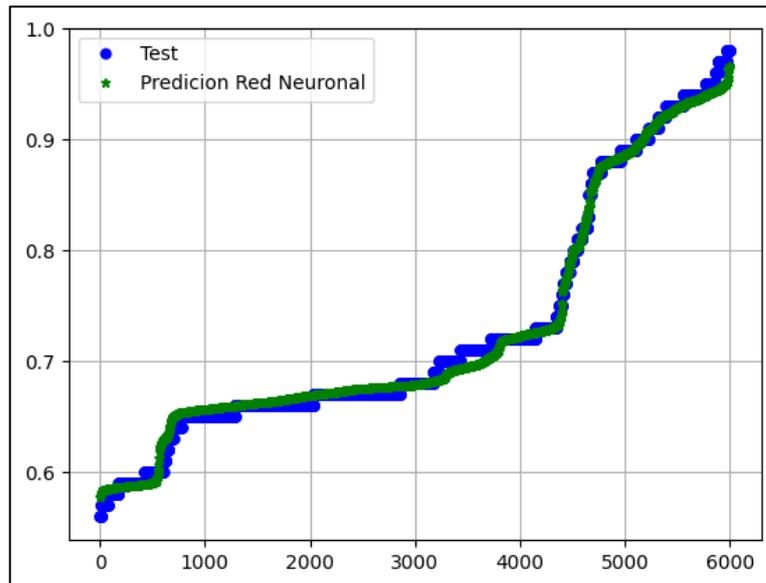
Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

**Tabla 7-3.** Error de Entrenamiento de la red Neuronal.

	<b>Error cuadrático medio</b>
<b>Modelo 1</b>	0.015861
<b>Modelo 2</b>	0.022719
<b>Modelo 3</b>	0.017723
<b>Modelo 4</b>	0.016750
<b>Modelo 5</b>	0.020097

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

Se escoge el modelo 1 ya que presenta el menor error cuadrático medio, se guarda el modelo para evaluar y validar el modelo.

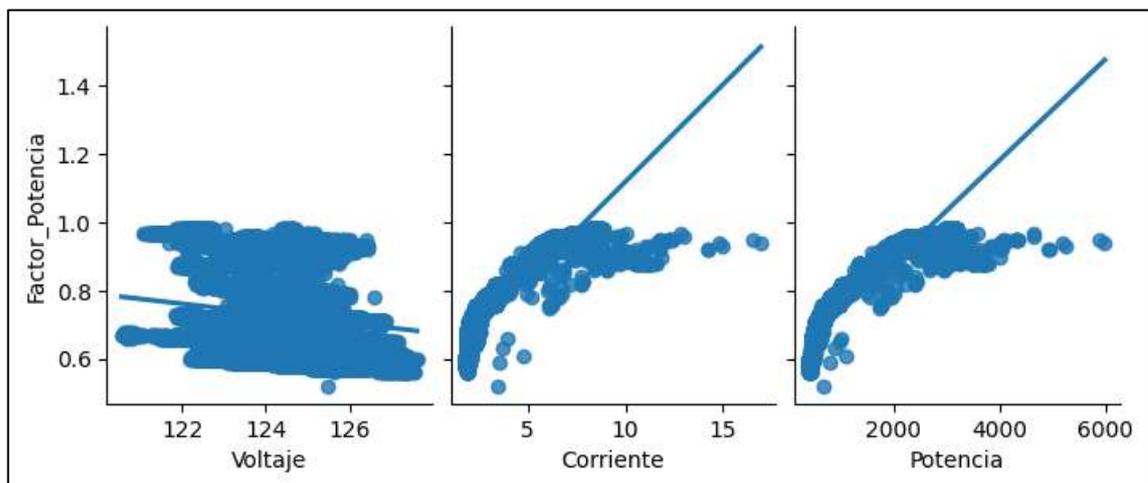


**Figura 32-3.** Datos de Validación de Red Neuronal.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 3.11.2 Regresión Lineal múltiple

Las variables independientes son: Voltaje, Corriente y Potencia, la variable dependiente es el factor de potencia. En la Figura 33-3, se presenta la correlación que existe entre las variables independientes y dependientes.



**Figura 33-3.** Correlación lineal de las variables dependientes e independiente.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

En la Tabla 8-3. Correlación de la variables independientes y dependiente. se puede observar la correlación que existe entre las variables dependientes y independientes.

**Tabla 8-3.** Correlación de la variables independientes y dependiente.

	Voltaje	Corriente	Potencia	Factor de potencia
Voltaje	1.000000	-0.120110	-0.119845	-0.140519
Corriente	-0.120110	1.000000	0.998397	0.913533
Potencia	-0.119845	0.998397	1.000000	0.927601
Factor de potencia	-0.140519	0.913533	0.927601	1.000000

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

El nuevo modelo de polinomio sigue la forma como se indica en la ecuación 8 utilizando la técnica de regresión polinomial.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(1) + \beta_2(V) + \beta_3(C) + \beta_4(P) + \beta_5(V \cdot C) \dots + \beta_{56}(P^5) \quad (8)$$

El modelo de regresión lineal múltiple utiliza un polinomio de quinto orden, los datos de entrada Voltaje, Corriente y Potencia se transforman en nuevos valores como se indica en la siguiente Figura 34-3, mismos que se utilizaran para general el modelo de regresión lineal múltiple.

```
[ '1' 'V' 'C' 'P' 'V^2' 'V C' 'V P' 'C^2' 'C P' 'P^2' 'V^3' 'V^2 C' 'V^2 P'
'V C^2' 'V C P' 'V P^2' 'C^3' 'C^2 P' 'C P^2' 'P^3' 'V^4' 'V^3 C' 'V^3 P'
'V^2 C^2' 'V^2 C P' 'V^2 P^2' 'V C^3' 'V C^2 P' 'V C P^2' 'V P^3' 'C^4'
'C^3 P' 'C^2 P^2' 'C P^3' 'P^4' 'V^5' 'V^4 C' 'V^4 P' 'V^3 C^2' 'V^3 C P'
'V^3 P^2' 'V^2 C^3' 'V^2 C^2 P' 'V^2 C P^2' 'V^2 P^3' 'V C^4' 'V C^3 P'
'V C^2 P^2' 'V C P^3' 'V P^4' 'C^5' 'C^4 P' 'C^3 P^2' 'C^2 P^3' 'C P^4'
'P^5' ]
```

**Figura 34-3.** Transformación de Variables.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

Los términos de  $\beta_0$  se obtienen una vez realizado el proceso de entrenamiento del modelo de regresión lineal, el termino independice  $\beta_0$  tiene un valor de:  $-1.264284$ , mientras que los demás coeficientes se indican en la siguiente Figura 35-3

[	9.09976433e-12	3.33125870e-07	-5.73606896e-09	1.54263557e-09
-7.13627340e-10	8.74084273e-10	9.71565882e-08	9.24230597e-11	
1.32624775e-08	-9.01673236e-08	-4.44028362e-08	3.38244483e-08	
4.03521402e-06	4.41514929e-09	5.54449238e-07	-3.73086432e-07	
6.66866623e-10	7.83999784e-08	1.22329711e-05	-2.54501318e-08	
3.62038062e-08	-2.83762175e-07	-5.97003958e-08	7.07696210e-08	
-2.53707063e-07	6.28368300e-09	4.06977115e-08	4.50156621e-07	
-1.77774484e-07	3.68556664e-10	7.80013921e-10	1.13205640e-08	
4.89919871e-08	-7.65888060e-10	1.55185429e-12	-2.25492069e-10	
1.14022059e-09	2.24607506e-10	-1.38662662e-07	3.06263490e-09	
-2.84298188e-11	4.61684135e-06	-4.77442027e-08	7.46149003e-10	
-1.36654875e-12	9.28996631e-08	9.37876545e-07	-7.53765857e-09	
2.52999849e-11	-3.08457236e-14	5.65345091e-09	3.24198537e-07	
-4.42198857e-08	3.42599461e-10	-9.22289063e-13	8.48797952e-16]	

**Figura 35-3.** Matriz de Coeficientes.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

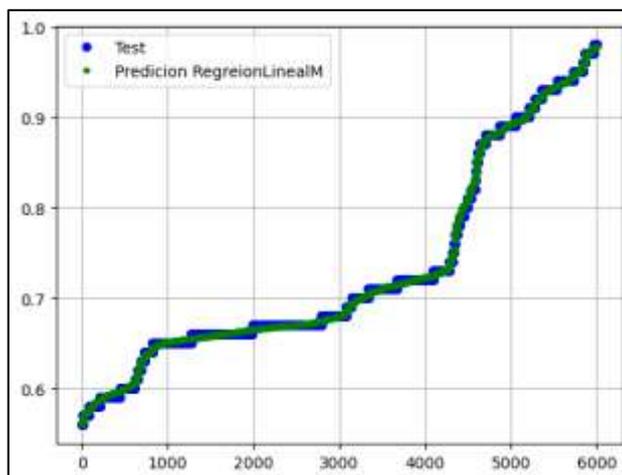
Se ha obtenido la puntuación de entrenamiento y validación como se indica en la Tabla 9-3, se puede observar que los datos de validación se ajustan al 100% modelo generado.

**Tabla 9-3.** Puntuación del modelo de RLM

	Entrenamiento	Validación
Puntuación	99,85 %	100%

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

El entrenamiento del algoritmo Regresión lineal múltiple se puede observar en la Figura 36-3 donde se observa los datos reales en color azul mientras que los datos de predicción de color verde. El error cuadrático medio del modelo es de 0.004284.



**Figura 36-3.** Datos de Validación algoritmo RLM.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

### 3.11.3 Bosque Aleatorio

El modelo de bosque aleatorio (Random Forest) utiliza múltiples árboles de decisión para predecir el factor de potencia, para generar el modelo de bosque aleatorio se establece los siguientes parámetros.

**Tabla 10-3.** Características del modelo de Bosque aleatorio

<b>Bosque Aleatorio</b>	<b>Características</b>
Numero de estimadores	100
criterion	squared_error
max_depth	4000
random_state	20
min_samples_split	10
min_samples_leaf	5

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

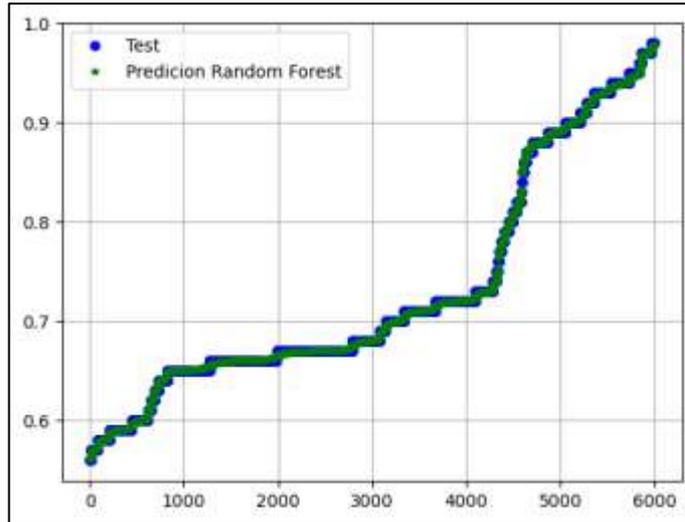
La puntuación del modelo en el proceso de entrenamiento y de validación se puede observar en la Tabla 11-3. Puntuación del modelo de

**Tabla 11-3.** Puntuación del modelo de Bosque Aleatorio

	Entrenamiento	Validación
Puntuación	99,86 %	99,70 %

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

El entrenamiento del algoritmo de bosque aleatorio se presenta en la Figura 37-3, donde se observa los datos reales en color azul mientras que los datos de predicción de color verde. El error cuadrático medio del modelo es de 0.006091



**Figura 37-3.** Datos de Validación algoritmo RF.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

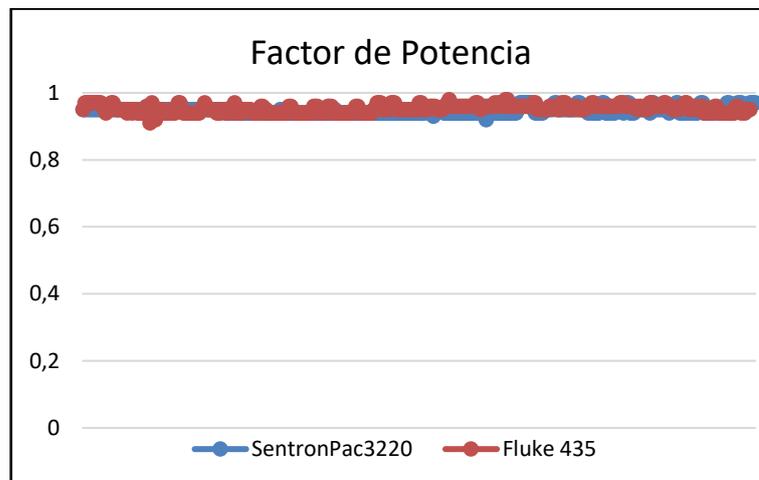
## 4. ANALISIS E INTERPRETRACION DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describe el proceso de validación de datos, pruebas y resultados obtenidos de los algoritmos de predicción del factor de potencia y el análisis de energía en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica, también se presenta una comparación entre los algoritmos para estimar el resultado con menor error en la predicción.

### 4.1 Validación de datos

La validación de los datos se realizó con un equipo maestro Fluke 435 Analizador de Calidad de Energía el cual posee una precisión en las medidas menor al 0,5%, considerado como un equipo de clase S mientras que el medidor de energía digital SentronPAC3220 cuenta con la certificación IEC 61557-12 y IEC 62053-21 que aseguran una medición con un rango de  $\pm 0,5\%$  de variación en las medidas. Los datos fueron comparados con un equipo maestro Fluke 435 con el cual se determinó el error en la medición.

Los valores de factor de potencia tienen un error absoluto medio de 0,0113 como se puede observar en la Figura 1-4. Los valores de voltaje y corriente presentan mayor variación ya que las muestras no pueden ser tomadas en el mismo instante por lo que tiene una variación de 2 segundos para cada muestra.

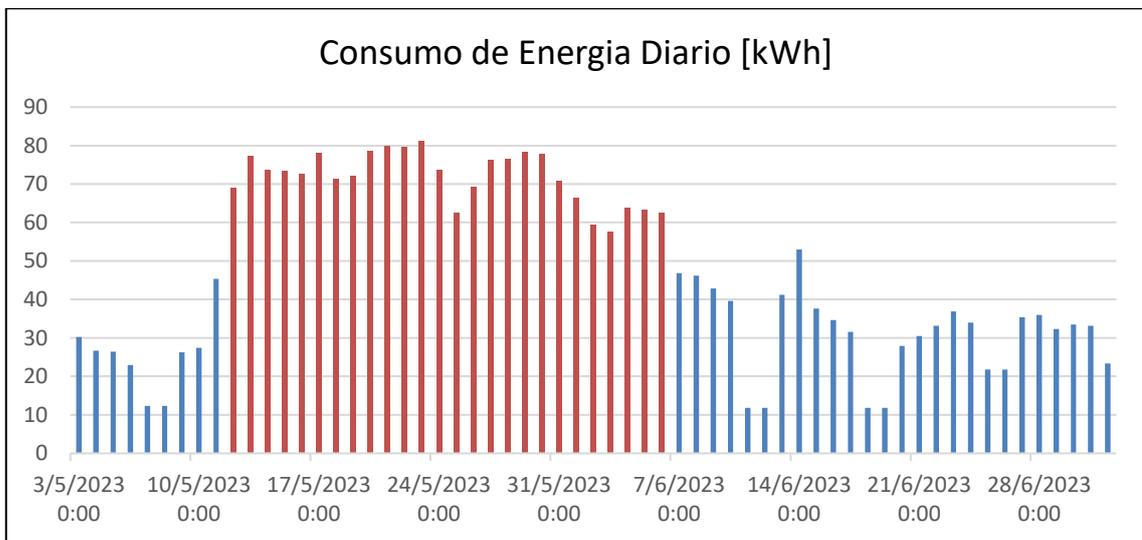


**Figura 1-4.** Validación de datos con equipo maestro.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

#### 4.2 Evaluación del consumo de energía y factor de potencia.

El laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica presenta un consumo de energía diario como se indica en la Figura 2-4, desde el 3 de mayo hasta el 2 de julio de 2023. El consumo de energía atípico corresponde a las fechas 11 de mayo al 7 de junio el consumo de energía diario máximo registrado es de 81,18 kWh



**Figura 2-4.** Consumo de Energía diario.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

La potencia y corriente máxima registrada se puede observar en la Tabla 1-4.

**Tabla 1-4.** Potencia y Corriente máxima registrada.

Fecha y Hora	Dato	Voltaje	Corriente	Potencia	Factor de potencia
11/5/2023 11:17	33663	123,89	20,61	6943,96	0,90

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

El tablero eléctrico principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica representa una inyección de potencia reactiva de 0.43 a 1.33 *kVAR* a la red eléctrica debido a la instalación de un sistema de alimentación ininterrumpida (Uninterruptible Power Supply o UPS por sus siglas en ingles), como se muestra en la Figura 3-4, al permanecer encendido el UPS se registra una la inyección

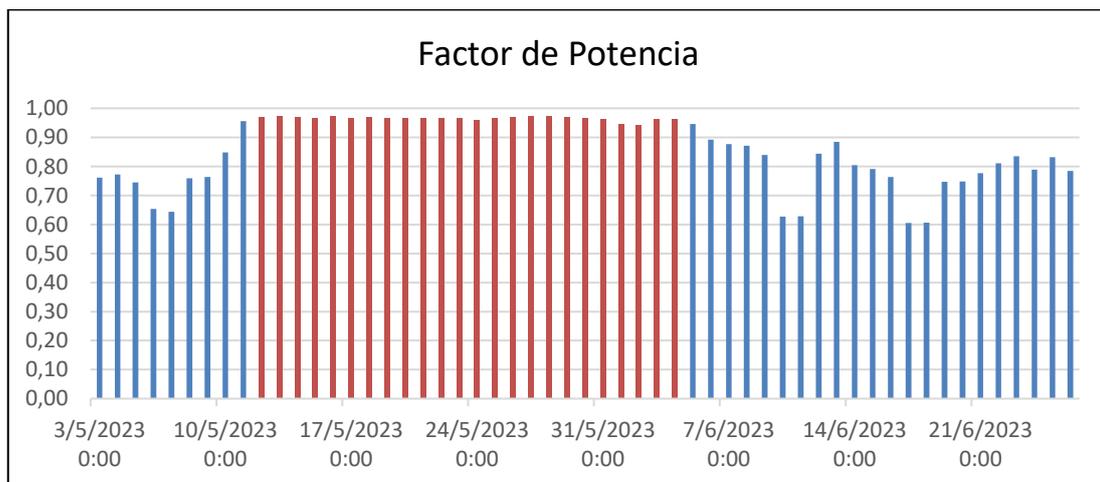
de potencia reactiva y un factor de potencia de 0.6, mientras esta apagado el UPS la potencia reactiva es de 10 VAR y el factor de potencia aumenta a 0.9, además ya no se inyecta potencia reactiva a la red, el factor de potencia pasa de capacitivo a inductivo que es un funcionamiento normal.



**Figura 3-4.** a) Medición de potencia UPS encendido. b) Medición con el UPS apagado.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

En la Figura 4-4, se puede observar el promedio del factor de potencia diario del laboratorio Industria 4.0 y Robótica, además se presenta un factor de potencia mensual de 0.76 en condiciones normales de funcionamiento.

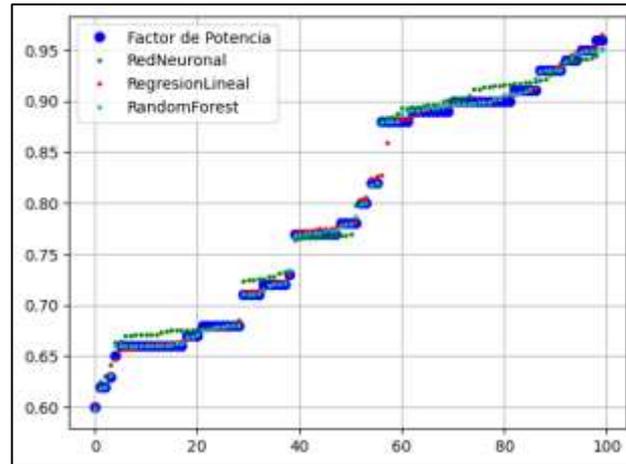


**Figura 4-4.** Promedio de factor de potencia.

**Realizado por:** Enríquez Esdras, 2023.

### 4.3 Validación de los modelos de predicción

Para determinar el error en la predicción se ha tomado un nuevo dataset con el que se evaluarán los algoritmos. El dataset generado corresponde a un día normal de funcionamiento del laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de los cuales se ha tomado 100 muestras aleatorias para evaluar y determinar el error. En la Figura 5-4, se puede observar el valor medido del factor de potencia y los valores de predicción de los algoritmos.



**Figura 5-4.** Predicción del factor de potencia.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En la Tabla 2-4, se puede observar el error cuadrático medio de cada algoritmo de predicción con el dataset de validación. El algoritmo que genera menor error en la predicción del factor de potencia es el Bosque Aleatorio o Random Forest.

**Tabla 2-4.** Error cuadrático medio de los algoritmos de predicción

Algoritmo	Error cuadrático Medio (MSE)
Redes Neuronales	0.020945
Regresión Lineal	0.008306
Bosque Aleatorio	0.004643

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

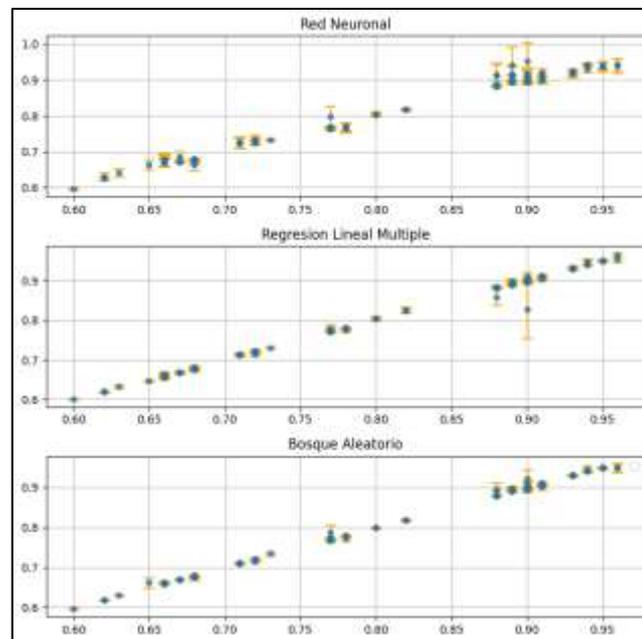
En la Tabla 3-4, se presenta el coeficiente de determinación  $R^2$  de los modelos, lo que permite observar que tan bien se ajustan a los nuevos datos, los mejores modelos para predecir el factor de potencia son: Regresión Lineal Múltiple y Bosque Aleatorio.

**Tabla 3-4.** Coeficiente de determinación  $R^2$

Algoritmo	Coefficiente de determinación $R^2$
Redes Neuronales	98,42%
Regresión Lineal Múltiple	99,83%
Bosque Aleatorio	99,86%

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

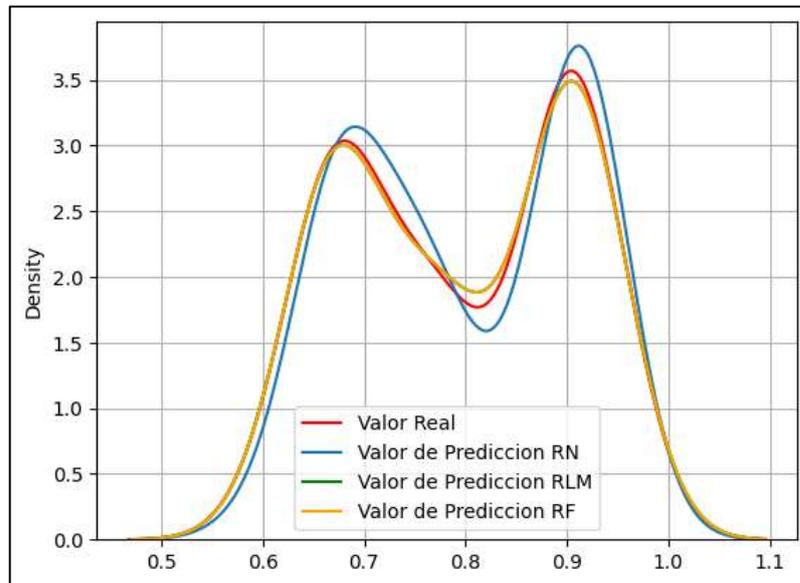
En la siguiente Figura 6-4, se presenta los límites de predicción de los algoritmos, se puede observar que los límites superior e inferior tiene un valor muy pequeño, es decir que los valores de predicción que generan los algoritmos muy similares a los datos reales.



**Figura 6-4.** Límites de predicción.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

En la Figura 7-4, se puede observar la estimación de la densidad del Kernel o KDE que presenta el ajuste de los modelos para los datos de validación.

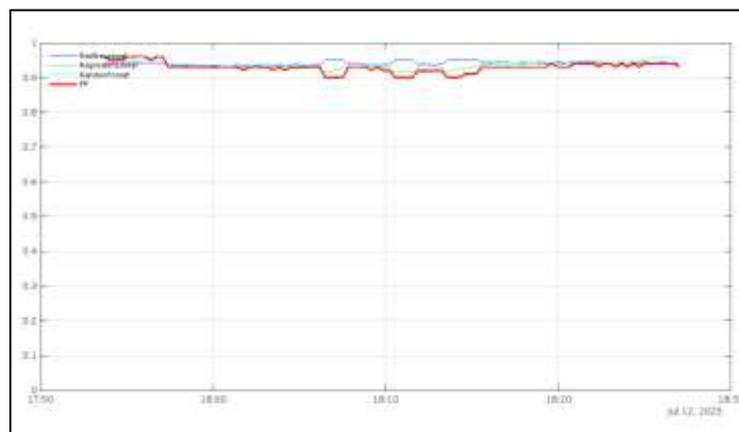


**Figura 7-4.** Estimación de la densidad del Kernel KDE.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

#### 4.4 Prueba de Funcionamiento en línea.

En la plataforma de ThingSpeak se puede observar el valor de factor de potencia real y los valores calculados por los algoritmos de predicción en tiempo real, en la Figura 8-4, se puede observar el comportamiento del factor de potencia en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica en la gráfica de color rojo.



**Figura 8-4.** Factor de Potencia real calculado.

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

Las variaciones del factor de potencia de debe al constante uso del laboratorio de industria 4.0 y Robótica como se puede observar en la Figura 9-4, el voltaje se mantiene en 125-126V mientras

que la corriente varia de 6.3 a 10.8 A, la potencia aumenta de 2,2 a 3.6 kW para luego estabilizarse 2.5 kW.



**Figura 9-4.** Magnitudes eléctricas medidas

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

#### 4.5 Optimización del algoritmo

El coeficiente de determinación  $R^2$  de las magnitudes medidas se puede observar en la Tabla 4-4. Las variables de Corriente y Potencia presentan una fuerte relación lineal mientras que el Voltaje cuenta con una correlación de  $-0.140519$  valor cercano a cero por lo que se puede excluir la variable del modelo de predicción y generar un nuevo modelo con las variables de Corriente y Potencia para predecir el factor de potencia.

**Tabla 4-4.** Correlación de magnitudes eléctricas

Magnitud	Factor de potencia
Voltaje	-0.140519
Corriente	0.913533
Potencia	0.927601

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

##### 4.5.1 Nuevo Modelo sin voltaje

Una vez obtenido el coeficiente de correlación  $R^2$  se generan nuevos modelos de los algoritmos sin considerar la variable de Voltaje, manteniendo las características y parámetros de los modelos anteriores. El factor de potencia dependerá de la corriente y la potencia como se indica en la siguiente ecuación:

$$Y[\text{Factor de Potencia}] = \beta_1[\text{Corriente}] + \beta_2[\text{Potencia}] \quad (9)$$

Se obtuvo el error cuadrático medio de los algoritmos como se puede observar en la Tabla 4-5. Los nuevos modelos de los algoritmos sin la variable de voltaje no presentan una mejora significativa en la predicción del factor de potencia.

**Tabla 4-5.** Generación de Nuevos modelos

Modelos	Con variable Voltaje (MSE)		Sin variable Voltaje (MSE)	
	Entrenamiento	Validación	Entrenamiento	Validación
Red Neuronal	0.019264	0.020945	0.015989	0.021471
Regresión Lineal	0.004284	0.008306	0.007797	0.009458
Bosque Aleatorio	0.006091	0.004643	0.006265	0.005064

Realizado por: Enríquez Esdras, 2023.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

A partir del estudio y análisis del estado del arte sobre los algoritmos de predicción se determinaron tres modelos de aprendizaje automático: Regresión Lineal Múltiple, Bosque Aleatorio y Redes Neuronales los cuales permiten predecir el factor de potencia de forma óptima.

Se implementó un medidor de energía digital para analizar las variaciones de las magnitudes eléctricas fundamentales y obtener los valores de consumo de energía eléctrica en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica, por medio de una pasarela IoT toda la información es enviada a una base de datos donde se guardará y utilizará como fuente de conocimiento para los algoritmos de aprendizaje automático.

Se analizaron las principales cargas que afectan al consumo de energía y reducen el factor de potencia en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica, en condiciones normales de funcionamiento se determinó un factor de potencia bajo de 0.78 en promedio diario.

Se determino la demanda máxima de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y corriente máxima en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica, además se establece las horas de mayor consumo, el desbalance de las cargas en cada línea y se establece que la inyección de potencia reactiva se debe principalmente a la instalación de la unidad UPS.

Para evaluar los modelos de aprendizaje automático se utilizaron métricas como el error cuadrático medio, los límites de predicción y puntuación de cada modelo, obteniendo un error en la predicción del factor de potencia menor al 1% en las pruebas realizadas. Además, se presenta una comparación entre los algoritmos y se establece que el algoritmo de regresión lineal múltiple es el mejor modelo para realizar la predicción.

Mediante la aplicación de Node red y Raspberry Pi 4 como pasarela IoT se realizó una interfaz HMI web para supervisar la variación de las magnitudes eléctricas fundamentales como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia lo cual permite tener conocimiento de las variables eléctricas de forma rápida con la posibilidad de conexión remota.

## **5.2 Recomendaciones**

En base a los algoritmos de predicción se puede complementar con procesos de optimización que permitan obtener mejores resultados, también para reducir el costo computacional de los algoritmos.

La inyección de potencia reactiva se debe a la instalación de la unidad UPS en el Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica por lo que se recomienda verificar el estado del equipo para asegurar el correcto funcionamiento.

El bajo factor de potencia se puede corregir implementado un banco de capacitores o una Generador Estático de VAR (SVG) en el tablero eléctrico principal del Laboratorio de Industria 4.0 y Robótica.

Utilizar las herramientas adecuadas y seguir las normas de seguridad al momento de realizar la instalación del medidor de energía para evitar cualquier riesgo eléctrico o electrocución.



## **GLOSARIO**

**Algoritmo:** Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema

**Contador de energía activa.** Aparato destinado a medir energía activa.

**Energía:** Cada una de las magnitudes físicas cuyos valores se pueden intercambiar entre sí y con trabajo.

**Factor de potencia:** Relación entre la potencia activa  $P$  que absorbe un receptor sinusoidal y su potencia aparente  $S$ . Coincide con el coseno del argumento de la potencia compleja que absorbe el receptor.

**Modbus:** Protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor.

**Tensión Eléctrica:** Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de una red eléctrica.

## BIBLIOGRAFÍA

**SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA, S.A.** 2010. Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos. *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*. España : Tecfoto, S.L. Ciutat de Granada, 55. 08005 Barcelona., págs. 342-367.

**ABB.** 2020. Analizador de redes M4M 20 Manual de Usuario. [En línea] 26 de 3 de 2020. [Citado el: 6 de 5 de 2023.] <https://new.abb.com/products/es/2CSG260061R4051/m4m-2x-ethernet>.

—. **2014.** CT Current transformers. *Ideal for measuring. Designed to create efficiency*. [Citado el: 9 de 5 de 2023.] <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CSC446012B0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

**Alexander, Charles K y SADIKU, Matthew N. O.** 2006. Análisis de potencia de ca. *Fundamentos de Circuitos eléctricos*. s.l. : The McGraw-Hill Companies, Inc. SBN 0-07-326800-3, págs. 457-488.

**AMAT Rodrigo, J.** 2016. Correlación lineal y Regresión lineal simple. [https://cienciadedatos.net/documentos/24\_correlacion\_y\_regresion\_lineal.html#Inferencia\_mediante\_regresi%C3%B3n\_lineal\_Significancia\_e\_intervalo\_de\_confianza\_para\_(beta\_0)\_y\_(beta\_1)] s.l. : available under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

—. 2016. Introducción a la Regresión Lineal Múltiple. *available under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)*. [En línea] 2016. [Citado el: 1 de 8 de 2023.] [https://www.cienciadedatos.net/documentos/25\\_regresion\\_lineal\\_multiple](https://www.cienciadedatos.net/documentos/25_regresion_lineal_multiple).

**AMAZON WEB SERVICES INC.** 2023. Qué es el Internet de las cosas (IoT). *¿Qué es IoT?* [En línea] [Citado el: 8 de 5 de 2023.] <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>.

**ARCERNNR.** 2022. PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2023. [En línea] 30 de 11 de 2022. [Citado el: 8 de 5 de 2023.] [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2023-04/Documento\\_Pliego-Tarifario-SPEE-Ano-2023.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2023-04/Documento_Pliego-Tarifario-SPEE-Ano-2023.pdf).

**ASTUDILLO A, Walter R.** 2022. Evaluación de un algoritmo basado en Machine Learning para un flujo de potencia óptima de corriente alterna ACOPF. [En línea] 21 de 10 de 2022. [Citado el: 1 de 8 de 2023.] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40129>.

**CABENELAS, J.** 2019. Inteligencia Artificial, págs. 40-55, <https://doi.org/10.32870/myn.v0i40.7403>.

- CALVO, J, GUZMÁN, M y RAMOS, D.** 2018. Machine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio. [En línea] 2018. [https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w25164w/M1CDN109\\_S1\\_Machine\\_learning\\_una\\_pieza\\_clave.pdf](https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w25164w/M1CDN109_S1_Machine_learning_una_pieza_clave.pdf).
- CONELEC.** 2013. Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 - Aspectos de Sustentabilidad y Sostenibilidad social y ambiental. *Asociación iberoamericana de entidades reguladoras de la energía*. [En línea] 2 de 1 de 2013. [Citado el: 24 de 04 de 2023.] <https://www.ariae.org/servicio-documental/plan-de-electrificacion-2013-2022>.
- EERSA.** 2023. Geoportal Electrico. *Empresa Eléctrica Riobamba S.A.* [En línea]. [Citado el: 1 de 8 de 2023.] <https://portal4arcgis.eersa.com.ec/portal/apps/webappviewer/index.html?id=c7bfb17dd21248bbbea20af211b8388e>.
- ESPRESSIF SYSTEMS.** 2018. ESP8266-DevKitC Getting Started Guide. *Getting Started Guide*. [En línea] 9 de 2018. [Citado el: 9 de 5 de 2023.] [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/ESP8266-DevKitC\\_getting\\_started\\_guide\\_\\_EN.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/ESP8266-DevKitC_getting_started_guide__EN.pdf).
- FLUKE CORP.** 2021. *TECHNICAL DATA 1770 Series Three-Phase Power Quality Analyzers*. [<https://www.farnell.com/datasheets/3551003.pdf>] Washington : Fluke Corporation, 2021.
- ABEL, Freire y PICO, Jeyson.** 2019. ALGORITMO AUTOMÁTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA. [En línea] 2019. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5592>.
- HART, William H, KEMMERLY, Jack E y DURBIN, Steven M.** 2012. ANÁLISIS DE POTENCIA EN CIRCUITOS DE CA. *Análisis de circuitos en ingeniería*. New York : The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved, ISBN: 978-007-352957-8, 2012, págs. 421-455.
- Kris, VAN DER MAST.** 2017. Plot trees for a Random Forest in Python with Scikit-Learn. [En línea] 2017. [Citado el: 1 de 8 de 2023.] <https://stackoverflow.com/questions/40155128/plot-trees-for-a-random-forest-in-python-with-scikit-learn>.
- Machine Learning models based in Supervised Learning for the Deteccion of Diabetes Mellitus in the City of Guayaquil.* **PATÍÑO, D, y otros.** 2023., Exponential Technologies and Global Challenges, Vol. 5, págs. 1-8.
- MATLAB.** 2023. ThingSpeak. *La plataforma IoT con MATLAB Analytics*. [En línea] 2023. [Citado el: 9 de 5 de 2023.] <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/>.

- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** 2021. Balance Energético Nacional. [En línea] 7 de Marzo de 2021. [https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance\\_Energe%CC%81tico\\_Nacional\\_2021-VF\\_opt.pdf](https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf).
- MODBUS.** 2012. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION. *PROTOCOLO MODBUS*. [En línea] 26 de 4 de 2012. [Citado el: 9 de 5 de 2023.] [https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf).
- OPENJS FOUNDATION.** 2023. Node-Red. [En línea] 2023. <https://nodered.org/>.
- PEDREGOSA et al.** 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. [En línea] 2011. [https://scikit-learn.org/stable/modules/linear\\_model.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/linear_model.html).
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION.** 2023. *El tutorial de Python*. [<https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>].
- QI, Yanjun.** 2012. Random Forest for Bioinformatics. [aut. libro] Cha Zhang y Ma Yunqian. *Ensemble Machine Learning: Methods and Applications*. New York, NY : Springer New York - [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7_11), 2012.
- RASPBERRY PI LTD.** 2019. Raspberry Pi Documentation. *DATASHEET Raspberry Pi 4 Model B Release 1*. [En línea] 2019. <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>.
- REINOZO RAMÍREZ, J J y SALAZAR, G.** 2017. Sistema de Medición Inteligente de Energía Eléctrica en la Empresa The Tesalia Springs Company S.A.: Implementación y Análisis de Resultados, Vol. Vol. 39, Núm. 2: Revista Politécnica, págs. 33-40. Recuperado a partir de [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/767](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/767).
- RITCHIE, Hannah, ROSER, Max y ROSADO, Pablo.** 2022. Energy. *OurWorldInData.org*. [En línea]. <https://ourworldindata.org/energy>.
- RIVAS ASANZA, Wilmer y MAZON OLIVO, Bertha.** 2018. Capítulo 1: Generalidades de las redes neuronales artificiales. *Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones*. [En línea] 2018. [Citado el: 1 de 8 de 2023.] <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12499>. 978-9942-24-100-9.
- SÁNCHEZ, Espín y MARGOTH, Nancy.** 2009. Focalización del subsidio al gas. Impacto sobre la demanda eléctrica y en la expansión del Sistema Nacional Interconectado (SNI). [En línea] 2009. [Citado el: 24 de 4 de 2023.] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11937/>.
- SANDOVAL, L.** 2018. Algoritmos de aprendizaje automático para el análisis y predicción de datos. *REVISTA TECNOLÓGICA N° 11*. Santa Tecla : ITCA-FEPADE, págs. 36-40.
- SARMIERTO JADÁN, Freddy V y SÁNCHEZ CALLE, Victor J.** 2009. Análisis de la calidad de la energía eléctrica y estudio de carga de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. [En línea] 2009. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/75>.

**SIEMENS AG. 2019.** Manual de Producto SENTRON Multímetro 7KM PAC3120 y PAC3220. [En línea] 10 de 2019. [Citado el: 6 de 5 de 2023.] [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/307/109767307/att\\_1003966/v1/MAN\\_L1V30519172D-01\\_es\\_es-MX.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/307/109767307/att_1003966/v1/MAN_L1V30519172D-01_es_es-MX.pdf).

**SIEMENS.** 2023. SIMATIC IOT2000. *La intefez inteligente para el internet de las cosas*. [En línea] 2023. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7647-0KA01-0AA2>.

**THE MATHWORKS.** 2023. Statistics and Machine Learning Toolbox. [En línea] The MathWorks, Inc. <https://la.mathworks.com/products/statistics.html>.

**UNITED NATIONS.** 2022. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. *Sistainable Developmente Goals*. [En línea] 2022. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>.

**WAGO.** 2023. Bobina Rogowski. *Número de parte 855-9150/2000-701*. [En línea] 2023. [Citado el: 2 de 2 de 2023.] [https://www.wago.com/mx-es/energy-measurement-technology/bobina-rogowski/p/855-9150\\_2000-701#details](https://www.wago.com/mx-es/energy-measurement-technology/bobina-rogowski/p/855-9150_2000-701#details).

# ANEXOS

## ANEXO A: Pliego Tarifario del servicio público de energía eléctrica.

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:



AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL  
DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES

**AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR**

### CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>CATEGORIA RESIDENCIAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>				
1-50		0,091	1,414	
51-100		0,093		
101-150		0,095		
151-200		0,097		
201-250		0,099		
251-300		0,101		
301-350		0,103		
351-500		0,105		
501-700		0,1285		
701-1000		0,1450		
1001-1500		0,1709		
1501-2500		0,2752		
2501-3500		0,4360		
Superior		0,6812		
<b>RESIDENCIAL TEMPORAL</b>				
		0,1285		
<b>CATEGORIA GENERAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA</b>				
<b>COMERCIAL</b>				
1-300		0,092	1,414	
Superior		0,103		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
1-300		0,082		
Superior		0,093		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
1-300		0,072		
Superior		0,083		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
1-300		0,058		
Superior		0,066		
<b>INDUSTRIAL ARTESANAL</b>				
1-300		0,073		
Superior		0,089		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>				
1 - 100		0,034		
101-200		0,036		
201-300		0,038		
Superior		0,063		
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,790	0,090	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,790	0,070		

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

**AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR**

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kWh-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,090	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,072		
<b>INDUSTRIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,065		
22:00 hasta 08:00 horas		0,069		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,080		
22:00 hasta 08:00 horas		0,066		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,070		
22:00 hasta 08:00 horas		0,056		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,056	1,414	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,095		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,045		
S.D 18:00 hasta 22:00 horas		0,056		
<b>VEHICULOS ELÉCTRICOS</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,080		
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,100		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,050		
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas				
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>				
<b>BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO</b>				
1-300 Superior		0,040	0,700	
		0,040		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA</b>				
	3,000	0,065	1,414	
<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	3,000	0,065		
22:00 hasta 08:00 horas		0,054		

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

**AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR**

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kWh-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
	4,790	0,095	
	<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 VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,095	
22:00 hasta 08:00 horas		0,077	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08h00 hasta 22h00	4,576	0,071	
22h00 hasta 08h00		0,059	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,061	
22:00 hasta 08:00 horas		0,049	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		1,414
	2,620		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,043	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,034	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043	
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>		
	4,050		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,069	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
	<b>INDUSTRIALES</b>		
	4,576		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,0897	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,1037	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0501	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0897	

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

**AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR**

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,089	1,414	
		0,081		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,065		
		0,059		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,055		
		0,049		
<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	3,000	0,065		
		0,054		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D 18:00 hasta 22:00 horas	2,100	0,039	1,414	
		0,065		
		0,031		
		0,039		
<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-D: 18:00 hasta 22:00 horas L-D: 22:00 hasta 08:00 horas SyD: 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069		
		0,086		
		0,043		
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	4,400	0,0837		
		0,0967		
		0,0501		
		0,0837		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)</b>				
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	3,940	0,0678	7,066	
		0,0814		
		0,0543		
		0,0678		

\* El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S,D,F.

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELECTRICAS

CNEL EL ORO - CNEL ESMERALDAS - CNEL QUAYAS LOS RIOS - CNEL LOS RIOS - CNEL MANABI - CNEL MILAGRO - CNEL SANTA ELENA - CNEL SANTO DOMINGO - CNEL SUCUMBIOS - GALAPAGOS

CARGOS TARIFARIOS UNICOS

JUNIO - NOVIEMBRE

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USDkW-mes)	ENERGIA (USDkWh)	COMERCIALIZACION (USD/Consumidor)
<b>RESIDENCIAL</b>			
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>			
1-50		0,091	1,414
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-400		0,105	
501-700		0,1285	
701-1000		0,1458	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	

CARGOS TARIFARIOS UNICOS

DICIEMBRE - MAYO

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USDkW-mes)	ENERGIA (USDkWh)	COMERCIALIZACION (USD/Consumidor)
<b>RESIDENCIAL</b>			
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>			
1-50		0,091	1,414
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-400		0,105	
501-700		0,1050	
701-1000		0,1109	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	

ENERO - DICIEMBRE

<b>RESIDENCIAL TEMPORAL</b>				
		0,1285	1,414	
<b>GENERAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA</b>				
<b>COMERCIAL</b>				
1-300		0,002	1,414	
Superior		0,103		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO</b>				
1-300		0,002		
Superior		0,093		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
1-300		0,072		
Superior		0,083		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PUBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
1-300		0,058		
Superior		0,066		
<b>INDUSTRIAL ARTESANAL</b>				
1-300		0,072		
Superior		0,089		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PUBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>				
1 - 100		0,034		
101-200		0,036		
201-300		0,038		
Superior		0,063		
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,790	0,090	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS</b>				
<b>SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,790	0,070		

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 SUCUMBÍOS - GALÁPAGOS

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/W-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,090	
22:00 hasta 08:00 horas		0,072	
	<b>INDUSTRIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,069	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,080	
22:00 hasta 08:00 horas		0,066	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,070	
22:00 hasta 08:00 horas		0,056	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		1,414
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,056	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,095	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,045	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,056	
	<b>VEHICULOS ELÉCTRICOS</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,950	0,080	
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,100	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,050	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>		
	<b>BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO</b>		0,700
1-300 Superior		0,040	
		0,040	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA</b>		1,414
	3,000	0,065	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	3,000	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,054	

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 SUCUMBÍOS - GALÁPAGOS

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>GENERAL MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
	4,790	0,095	
	<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 VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,095	
22:00 hasta 08:00 horas		0,077	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,071	
22:00 hasta 08:00 horas		0,059	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,061	
22:00 hasta 08:00 horas		0,049	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		1,414
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,043	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,034	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043	
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
	<b>INDUSTRIALES</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,576	0,0897	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,1037	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0501	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0897	

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE



AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL  
DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES

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 SUCUMBÍOS - GALÁPAGOS

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/W-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,089	1,414	
		0,081		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,065		
		0,059		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,400	0,055		
		0,049		
<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	3,000	0,065		
		0,054		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08h00 hasta 18h00 L-V 18h00 hasta 22h00 L-V 22h00 hasta 08h00* S,D 18h00 hasta 22h00	2,100	0,039	1,414	
		0,065		
		0,031		
		0,039		
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-D: 18:00 hasta 22:00 horas L-D: 22:00 hasta 08:00 horas S y D: 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069		
		0,086		
		0,043		
	<b>INDUSTRIALES</b>			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	4,400	0,0837		
		0,0967		
		0,0501		
		0,0837		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)</b>		
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	3,940	0,0678	7,066	
		0,0814		
		0,0543		
		0,0678		

\* El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S,D,F.

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

CNEL UN GUAYAQUEL

CARGOS TARIFARIOS

JUNIO - NOVIEMBRE

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kWh-mes)	ENERGIA (USD/kWh)	COMERCIALIZACION (USD/Consumidor)
<b>CATEGORIA RESIDENCIAL</b>			
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>		
1-50		0,078	1,414
51-100		0,081	
101-150		0,083	
151-200		0,087	
201-250		0,090	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	
501-700		0,105	
701-1000		0,105	
1001-1500		0,170	
1501-2000		0,272	
2001-3000		0,400	
Superior		0,6012	

CARGOS TARIFARIOS

DICIEMBRE - MAYO

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kWh-mes)	ENERGIA (USD/kWh)	COMERCIALIZACION (USD/Consumidor)
<b>CATEGORIA RESIDENCIAL</b>			
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>		
1-50		0,078	1,414
51-100		0,081	
101-150		0,083	
151-200		0,087	
201-250		0,090	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	
501-700		0,105	
701-1000		0,110	
1001-1500		0,170	
1501-2000		0,272	
2001-3000		0,400	
Superior		0,6012	

ENERO - DICIEMBRE

<b>RESIDENCIAL TEMPORAL</b>				
		0,1285	1,414	
<b>CATEGORIA GENERAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA</b>			
<b>COMERCIAL</b>				
1-300		0,092	1,414	
Superior		0,118		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO</b>				
1-300		0,072		
Superior		0,100		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
1-300		0,092		
Superior		0,090		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PUBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
1-300		0,070		
Superior		0,065		
<b>INDUSTRIAL ARTESANAL</b>				
1-300		0,054		
Superior		0,100		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PUBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>				
1 - 100		0,030		
101-200		0,054		
201-300		0,050		
Superior		0,105		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA</b>			
<b>COMERCIALES</b>				
	4,053	0,092	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,055	0,092		
<b>ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,055	0,092		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,055	0,072		

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE

**CNEL UN GUAYAQUIL**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-max)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>			
	<b>COMERCIALES</b>			
08:00 hasta 22:00 horas	4,055	0,092	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,074		
	<b>INDUSTRIALES</b>			
08:00 hasta 22:00 horas	4,055	0,067		
22:00 hasta 08:00 horas		0,071		
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>			
08:00 hasta 22:00 horas	4,055	0,082		
22:00 hasta 08:00 horas		0,068		
	<b>BOMBEO AGUA</b>			
08:00 hasta 22:00 horas	4,055	0,072		
22:00 hasta 08:00 horas		0,058		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>			
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,056	1,414	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,095		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,045		
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,056		
	<b>VEHICULOS ELÉCTRICOS</b>			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,080		
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,100		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas SyD: 08:00 hasta 18:00 horas		0,050		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>			
1-300 Superior	<b>BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO</b>			
		0,040	0,700	
		0,040		
	<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA</b>			
	2,622	0,060	1,414	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>			
08:00 hasta 22:00 horas	2,622	0,060		
22:00 hasta 08:00 horas		0,050		

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE

**CNEL UN GUAYAQUIL**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,003	0,090	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,003	0,075		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,003	0,062		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,003	0,052		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,090	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,073		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,062		
22:00 hasta 08:00 horas		0,052		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,003	0,052		
22:00 hasta 08:00 horas		0,042		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,043	1,414	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,034		
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043		
<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069		
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043		
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas				
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,003	0,0815	1,414	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0935		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0456		
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0815		

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE



**CNEL UN GUAYAQUIL**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kWh-mes)	ENERGIA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,084	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,075		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,056		
22:00 hasta 08:00 horas		0,051		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,046		
22:00 hasta 08:00 horas		0,041		
<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PUBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	2,622	0,060		
22:00 hasta 08:00 horas		0,050		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08h00 hasta 18h00	2,100	0,039	1,414	
L-V 18h00 hasta 22h00		0,065		
L-V 22h00 hasta 08h00*		0,031		
S,D 18h00 hasta 22h00		0,039		
<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069		
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043		
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas				
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,930	0,0755	1,414	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0665		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0446		
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0755		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)</b>				
<b>INDUSTRIALES</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,940	0,0678	7,066	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0614		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0543		
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0678		

\* El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S,D,F.

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE



AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL  
DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES

**EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>CATEGORÍA RESIDENCIAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>				
1-50		0,078	1,414	
51-100		0,081		
101-150		0,083		
151-200		0,087		
201-250		0,099		
251-300		0,101		
301-350		0,103		
351-500		0,105		
501-700		0,1285		
701-1000		0,1450		
1001-1500		0,1709		
1501-2500		0,2752		
2501-3500		0,4360		
Superior		0,5812		
<b>RESIDENCIAL TEMPORAL</b>				
		0,1285		
<b>CATEGORÍA GENERAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA</b>				
<b>COMERCIAL</b>				
1-300		0,081	1,414	
Superior		0,104		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO</b>				
1-300		0,071		
Superior		0,094		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
1-300		0,061		
Superior		0,084		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
1-300		0,056		
Superior		0,066		
<b>INDUSTRIAL ARTESANAL</b>				
1-300		0,062		
Superior		0,094		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>				
1 - 100		0,045		
101-200		0,046		
201-300		0,051		
Superior		0,089		
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,182	0,088	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,182	0,078		
<b>ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,182	0,078		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,182	0,068		

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

**EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-max)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,182	0,088	1,414	
		0,070		
<b>INDUSTRIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,182	0,063		
		0,067		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,182	0,078		
		0,064		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4,182	0,068		
		0,054		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D 18:00 hasta 22:00 horas	2,620	0,056	1,414	
		0,095		
		0,045		
		0,056		
<b>VEHICULOS ELÉCTRICOS</b>				
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-D: 18:00 hasta 22:00 L-D: 22:00 hasta 08:00 horas ByD: 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,080		
		0,100		
		0,050		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>		<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>		
1-300 Superior	<b>BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO</b>		0,700	
		0,040		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	2,704	0,062	1,414	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>			
	2,704	0,062		
		0,052		

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

**EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,129	0,095	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,129	0,081		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,129	0,068		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,129	0,058		
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,129	0,095	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,077		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,129	0,068		
22:00 hasta 08:00 horas		0,056		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,129	0,058		
22:00 hasta 08:00 horas		0,046		
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
	2,620		1,414	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,043		
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,034		
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043		
<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>				
	4,050			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,069		
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas S,yD: 08:00 hasta 18:00 horas		0,043		
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,129			
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,0875		
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,1015		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas* S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0491 0,0875		

PERIODO:

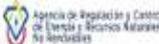
ENERO - DICIEMBRE

**EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.**

**CARGOS TARIFARIOS**

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,053	0,089	
22:00 hasta 08:00 horas		0,081	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,053	0,061	
22:00 hasta 08:00 horas		0,055	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,053	0,051	
22:00 hasta 08:00 horas		0,045	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	2,784	0,062	
22:00 hasta 08:00 horas		0,052	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		1,414
L-V 08h00 hasta 18h00	2,100	0,039	
L-V 18h00 hasta 22h00		0,065	
L-V 22h00 hasta 08h00*		0,031	
S,D 18h00 hasta 22h00		0,039	
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
	<b>INDUSTRIALES</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,053	0,0805	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0925	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0481	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0865	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)</b>		
	<b>INDUSTRIALES</b>		7,0660
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,940	0,0678	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0543	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0678	

\* El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S,D,F.

	<b>PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b> AÑO 2023	Código: GGPGE.GPSCCC.02.FO.01
		Versión: 03

**ANEXO 2:**  
**MECANISMO DE APLICACIÓN DEL SUBSIDIO CRUZADO EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

EMPRESA	DISTRIBUIDORA	LÍMITES DE CONSUMO		PORCENTAJE APLICACIÓN	
		RECIBEN Hasta	APORTAN Mayor a		
		kWh-mes/usuario		%	
EMPRESAS ELÉCTRICAS - EE	Ambato	80	100	10	
	Azogues	70	80		
	Centrosur	90	100		
	Cotopaxi	70	80		
	Norte	90	100		
	Quito	130	160		
	Riobamba	70	80		
	Sur	70	80		
	Galápagos	130	170		
CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD - CNEL	CNEL Bolívar	50	60	10	
	CNEL El Oro	120	130		
	CNEL Esmeraldas	130	140		
	CNEL Guayaquil	130	250		5
	CNEL Guayas-Los Ríos	130	190		10
	CNEL Los Ríos	120	130		
	CNEL Manabí	130	150		
	CNEL Milagro	100	130		
	CNEL Santa Elena	130	140		
	CNEL Santo Domingo	110	110		
CNEL Sucumbios	90	120			

## Datos técnicos

### 10.1 Datos técnicos

#### Configuración del dispositivo

- 2 entradas digitales optoaisladas
- 2 salidas digitales optoaisladas
- 1 interfaz RS485 para la conexión al PC o a la red (solo PAC3120)
- 2 interfaces Ethernet para la conexión al PC o a la red (solo PAC3220)

#### Medición

Solo para la conexión a sistemas de corriente alterna.

Medición		
Método de medición	Medición de tensión	Medición de auténtico valor eficaz (TRMS), continua (Zero Blind Measurement, Gapless)
	Medición de corriente	Medición de auténtico valor eficaz (TRMS), continua (Zero Blind Measurement, Gapless)
Adquisición de valores medidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia</li> <li>• Frecuencia</li> <li>• Factor de potencia</li> <li>• <math>\cos \phi</math></li> </ul>	Continua (Zero Blind Measurement, Gapless)
	Forma de onda	Senoidal o distorsionada
	Frecuencia de la onda fundamental	50/60 Hz
	Modo de operación de la adquisición de valores medidos	Detección automática de frecuencia de red

## Datos técnicos

### 10.1 Datos técnicos

#### Entradas de medida para tensión

Entradas de medida para tensión		
Tensión que se puede medir	Tensión nominal	57,7/100 ... 400/690 V (IEC) 57,7/100 ... 347/600 V (UL)
	Tensión de medición mín. U <sub>L-N</sub>	11,5 V
	Tensión de medición máx. U <sub>L-N</sub>	480 V (IEC) 416 V (UL)
	Supresión de cero	Tensión L-N Tensión L-L
Categoría de medida (según IEC/UL 61010-2-030)	Categoría	CAT III
	Tensión soportada a la onda de choque	≥ 9,6 kV (1,2/50 μs)
Resistencia de entrada (L-N)		1,5 MΩ
Consumo de potencia máx. por fase		150 mW

#### Entradas de medida para corriente

Solo para conexión a sistemas de corriente alterna mediante transformadores de corriente externos.

Entradas de medida para corriente		
Corriente de entrada I <sub>e</sub>	Intensidad asignada 1	x/1 A
	Intensidad asignada 2	x/5 A
Rango de medida de la intensidad		10 ... 120 % de la intensidad asignada
Rango de medida de la medición de potencia y energía		1 ... 120 % de la intensidad asignada
Sobrecarga de choque soportable		100 A durante 1 s
Máx. intensidad permanente admisible		10 A
Consumo de potencia máx. por fase		300 mVA con 5 A
Supresión de cero		0 % ... 10 % de la intensidad asignada

### Precisión de medida

Normas aplicadas:

- IEC 61557-12
- IEC 62053-21
- IEC 62053-22
- IEC 62053-23

Precisión de medida	
Magnitud	Clase de precisión según IEC 61557-12
Tensión	0,2
Corriente	0,2
Potencia aparente	0,5
Potencia activa	0,5
Potencia reactiva	1
Potencia aparente total de todas las fases	0,5
Potencia activa total de todas las fases	0,5
Potencia reactiva total Q1 de todas las fases	1
Potencia activa acumulada	0,5
Potencia reactiva acumulada	1
Factor de potencia total	0,5
Frecuencia de red	0,05
Energía activa	0,5
Energía reactiva	2
THD	5

En caso de medición a través de transformadores de corriente o tensión externos, la precisión de medida depende de la calidad de dichos transformadores.

### Tensión de alimentación

Tensión de alimentación		
Fuente de alimentación de amplio rango de entrada AC/DC	Rango nominal de PAC3220	100-250 V AC/DC $\pm 10\%$ 50/60 Hz 8 VA
	Rango nominal de PAC3120	100-250 V AC/DC $\pm 10\%$ 50/60 Hz 4 VA
Fuente DC de muy baja tensión	Rango nominal de PAC3220	24-60 V DC $\pm 20\%$ 8 VA
	Rango nominal de PAC3120	24-60 V DC $\pm 20\%$ 4 VA
Categoría de sobretensión		OVC III

## Datos técnicos

### 10.1 Datos técnicos

#### Entradas digitales

Entradas digitales		
Número		2
Tensión de entrada	Valor nominal	24 V DC
	Tensión de entrada máx.	30 V DC
	Umbral de conmutación señal "1"	DC > 11 V
Corriente de entrada	Para señal "1"	Tip. 7 mA

#### Salidas digitales

Salidas digitales		
Número		2
Tipo		Bidireccional
Tipofunción		Salida de conmutación (sostenida) o de impulso
Tensión asignada		0-30 V DC, típica 24 V DC (alimentación SELV o PELV/MBTP)
Corriente de salida	Para señal "1"	Dependiente de la carga y la alimentación externa
	Carga continua	≤ 50 mA (protección contra sobrecarga térmica)
	Sobrecarga breve	≤ 130 mA durante 100 ms
	Para señal "0"	≤ 0,2 mA
	Resistencia interna	55 Ω
Función de emisión de impulsos	Norma para dispositivo de impulsos	Comportamiento de señal según IEC 62053-31
	Duración de impulso ajustable	30 ... 500 ms
	Base de tiempos mín. ajustable	10 ms
	Máx. frecuencia de conmutación	17 Hz
	Protección contra cortocircuitos	SI

### Comunicación PAC3120

Comunicación PAC3120			
Interfaz RS485	Interfaz eléctrica	RS485, cable par trenzado + 1 conductor común	
	Tipo de conexión	Bornes de tornillo	
	Protocolo de comunicación admitido	Modbus RTU	
	Funcionalidad	Esclavo	
	Velocidades posibles	<ul style="list-style-type: none"><li>• 4800</li><li>• 9600</li><li>• 19200</li><li>• 38400</li><li>• 57600</li><li>• 115200</li></ul> Valor predeterminado: 19200	
	Formato de datos	<ul style="list-style-type: none"><li>• 8N1</li><li>• 8N2</li><li>• 8E1</li><li>• 8O1</li></ul> Valor predeterminado: 8N2	
	Área de direcciones admitida	1 ... 247 Valor predeterminado: 126	

### Comunicación PAC3220

Comunicación PAC3220		
Interfaz Ethernet	Número de interfaces	2
	Tipo	RJ45
	Protocolo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modbus TCP</li><li>• Servidor web (HTTP)</li><li>• SNTP</li><li>• DHCP</li></ul>
	Número de conexiones de comunicación simultáneas	3 conexiones Modbus TCP + servidor web
	Velocidad de transferencia	10/100 Mb/s, Autonegotiation y Auto-MDX (Medium Dependent Interface)

## Datos técnicos

### 10.1 Datos técnicos

#### Visualización y manejo

Visualización y manejo		
Display	Tipo	Display gráfico LCD monocromo
	Retroiluminación	Blanca, visualización invertible
	Vida útil de los LED	25 000 horas con una temperatura ambiente de 25 °C. Para alcanzar una vida útil de al menos 10 años, la retroiluminación debería estar activada como máximo un 10 % del tiempo que el dispositivo está en funcionamiento.
	Resolución	128 x 96 píxeles
	Dimensiones (An x Al)	74 mm x 56 mm
Teclado	Tipo	4 teclas de función en el frente, asignación múltiple

**Elementos de conexión: Conexión de corriente, conexión de tensión**

<b>Elementos de conexión: Conexión de corriente, conexión de tensión</b>		
Sección del cable de cobre (Cu)	Rigido	0,2 ... 6 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 10)
		
	Flexible	0,2 ... 4 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 12)
		
2 conductores de la misma sección	Alma flexible con puntera no aislada	0,2 ... 4 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 12)
		
	Alma flexible con puntera aislada	0,25 ... 4 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 12)
		
2 conductores de la misma sección	Rigido	0,2 ... 1,5 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 16)
		
	Flexible	0,2 ... 1,5 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 16)
		
	Alma flexible con puntera no aislada	0,25 ... 0,75 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 19)
		
Alma flexible con puntera TWIN y aislada	0,5 ... 2,5 mm <sup>2</sup> (AWG 20 ... 14)	
		
Par de apriete	0,5 ... 0,6 Nm (4,4 ... 5,3 lb-in)	

**Elementos de conexión: Conexiones de comunicación PAC3120**

<b>Elementos de conexión: Conexiones de comunicación PAC3120</b>		
Sección del cable de cobre (Cu)	Rígido	0,14 ... 1,5 mm <sup>2</sup> (AWG 26 ... 16)
		
	Flexible	0,14 ... 1,5 mm <sup>2</sup> (AWG 26 ... 16)
		
2 conductores de la misma sección	Alma flexible con puntera no aislada	0,25 ... 1 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 18)
		
	Alma flexible con puntera aislada	0,25 ... 1,5 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 16)
		
2 conductores de la misma sección	Rígido	0,14 ... 0,75 mm <sup>2</sup> (AWG 26 ... 19)
		
	Flexible	0,14 ... 0,75 mm <sup>2</sup> (AWG 26 ... 19)
		
	Alma flexible con puntera no aislada	0,25 ... 0,5 mm <sup>2</sup> (AWG 24 ... 20)
		
Alma flexible con puntera TWIN y aislada	Alma flexible con puntera TWIN y aislada	0,5 ... 1 mm <sup>2</sup> (AWG 20 ... 18)
		
Par de apriete		0,5 ... 0,6 Nm (4,4 ... 5,3 lb-in)

### Dimensiones y pesos

Dimensiones y pesos		
Tipo de fijación	Montaje en panel según IEC 61554	
Dimensiones de carcasa An x Al x P	96 mm x 96 mm x 56 mm	
Sección (An x Al)	92 mm +0,8 mm x 92 mm +0,8 mm	
Profundidad de montaje (sin módulo de ampliación)	51 mm	
Espesor de la chapa admitido para el montaje	≤ 4 mm	
Posición de montaje	Vertical	
Peso	Dispositivo sin embalaje	Aprox. 325 g
	Dispositivo incl. embalaje	Aprox. 460 g

### Grado y clase de protección

Grado y clase de protección		
Clase de protección	Clase de protección II en estado montado	
Grado de protección según IEC 60529	Lado frontal del dispositivo	IP65
	Lado posterior del dispositivo	IP20

Si la aplicación exige un grado de protección mayor, el usuario deberá tomar las medidas oportunas correspondientes.

# A

## Anexo

### A.1 Modbus

Encontrará información detallada sobre Modbus en el sitio web de Modbus (<http://www.modbus.org>).

#### A.1.1 Códigos de función

Los códigos de función controlan el intercambio de datos. Para ello, el código de función le comunica al esclavo qué acción debe ejecutar.

Si se produce un error, en el telegrama de respuesta se setea en el byte FC el bit más significativo (MSB).

#### Códigos de función Modbus admitidos

Tabla A- 1 Códigos de función Modbus admitidos

FC	Función según la especificación Modbus
0 x 01	Read Coils
0 x 02	Read Discrete Inputs
0 x 03	Read Holding Registers
0 x 04	Read Input Registers
0 x 05	Write Single Coil
0 x 06	Write Single Register
0 x 0F	Write Multiple Coils
0 x 10	Write Multiple Registers
0 x 2B	Read Device Identification
0 x 14	Read File Record (para medias)

## A.1.2 Códigos de excepción

### Resumen

Tabla A-2 Códigos de excepción Modbus

Códigos de excepción	Nombre	Significado	Remedio
01	Illegal Function	Función no válida: <ul style="list-style-type: none"> <li>El código de función en la solicitud no es una acción permitida para el esclavo.</li> <li>El esclavo se encuentra en un estado en el que no puede procesar solicitudes de este tipo. Esto sucede, p. ej., cuando todavía no está configurado y se le pide que devuelva valores de registro.</li> </ul>	Compruebe qué códigos de función se admiten.
02	Illegal Data Address	Dirección de datos errónea: Esta dirección no está permitida para el esclavo. Esto sucede, p. ej., cuando la combinación del offset de inicio y la longitud de transmisión no es válida.	Compruebe el offset y el número de registros.
03	Illegal Data Value	Valor de dato no válido: La solicitud contiene un valor de dato no permitido para el esclavo. Esto indica la existencia de un error en el resto de la estructura de una solicitud compleja, p. ej. una longitud de datos incorrecta.	En el comando, asegúrese de que el offset y la longitud de datos indicados sean correctos.
04	Slave Device Failure	Error al procesar los datos: Error no reproducible cuando el esclavo ha intentado ejecutar la acción solicitada.	Asegúrese de que el offset y la longitud de datos indicados sean correctos.
F0	Write Protection ON	Se ha rechazado la acción porque está activada la protección contra escritura.	Desactive la protección contra escritura.

### A.1.3 Magnitudes medidas Modbus con los códigos de función 0x03 y 0x04

#### Direccionamiento de las magnitudes medidas

Puede aplicar los códigos de función Modbus 0x03 y 0x04 a todas las magnitudes medidas listadas a continuación.

#### Nota

##### Error en caso de acceso incoherente a valores medidos

En los **accesos de lectura**, asegúrese de que concuerde el offset de inicio del registro.

En los **accesos de escritura**, asegúrese de que coincidan el offset de inicio y el número de registros.

Si un valor está formado por dos registros, un comando de lectura incluido en el segundo registro, p. ej., provoca un código de error. Cuando, p. ej., una operación de escritura termina en medio de un valor registro múltiple, el dispositivo también emite un código de error.

Tabla A- 3 Significado de las abreviaturas de la columna "Acceso" en la siguiente tabla "Magnitudes medidas disponibles"

Abreviatura	Significado
R	(Read), acceso de lectura
W	(Write), acceso de escritura
RW	(Read Write), acceso de lectura y escritura

Tabla A- 4 Magnitudes medidas disponibles

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
1	2	Tensión L1-N	Float	V	–	R
3	2	Tensión L2-N	Float	V	–	R
5	2	Tensión L3-N	Float	V	–	R
7	2	Tensión L1-L2	Float	V	–	R
9	2	Tensión L2-L3	Float	V	–	R
11	2	Tensión L3-L1	Float	V	–	R
13	2	Corriente L1	Float	A	–	R
15	2	Corriente L2	Float	A	–	R
17	2	Corriente L3	Float	A	–	R
19	2	Potencia aparente L1	Float	VA	–	R
21	2	Potencia aparente L2	Float	VA	–	R
23	2	Potencia aparente L3	Float	VA	–	R
25	2	Potencia activa L1	Float	W	–	R

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admilido	Acceso
27	2	Potencia activa L2	Float	W	-	R
29	2	Potencia activa L3	Float	W	-	R
31	2	Potencia reactiva L1 (Q1)	Float	var	-	R
33	2	Potencia reactiva L1 (Q1)	Float	var	-	R
35	2	Potencia reactiva L1 (Q1)	Float	var	-	R
37	2	Factor de potencia L1	Float	-	0 ... 1	R
39	2	Factor de potencia L2	Float	-	0 ... 1	R
41	2	Factor de potencia L3	Float	-	0 ... 1	R
43	2	THD-R en tensión L1	Float	%	0 ... 100	R
45	2	THD-R en tensión L2	Float	%	0 ... 100	R
47	2	THD-R en tensión L3	Float	%	0 ... 100	R
49	2	THD-R en corriente L1	Float	%	0 ... 100	R
51	2	THD-R en corriente L2	Float	%	0 ... 100	R
53	2	THD-R en corriente L3	Float	%	0 ... 100	R
55	2	Frecuencia	Float	Hz	45 ... 65	R
57	2	Tensión media UL-N	Float	V	-	R
59	2	Tensión media UL-L	Float	V	-	R
61	2	Corriente media	Float	A	-	R
63	2	Potencia aparente total	Float	VA	-	R
65	2	Potencia activa total	Float	W	-	R
67	2	Potencia reactiva total	Float	var	-	R
69	2	Factor de potencia total	Float	-	-	R
71	2	Desbalance de amplitudes de tensión	Float	%	0 ... 100	R
73	2	Desbalance de amplitudes de corriente	Float	%	0 ... 200	R
75	2	Tensión máxima L1-N	Float	V	-	R
77	2	Tensión máxima L2-N	Float	V	-	R
79	2	Tensión máxima L3-N	Float	V	-	R
81	2	Tensión máxima L1-L2	Float	V	-	R
83	2	Tensión máxima L2-L1	Float	V	-	R
85	2	Tensión máxima L3-L1	Float	V	-	R
87	2	Corriente máxima L1	Float	A	-	R
89	2	Corriente máxima L2	Float	A	-	R
91	2	Corriente máxima L3	Float	A	-	R
93	2	Potencia aparente máxima L1	Float	VA	-	R
95	2	Potencia aparente máxima L2	Float	VA	-	R
97	2	Potencia aparente máxima L3	Float	VA	-	R
99	2	Potencia activa máxima L1	Float	W	-	R
101	2	Potencia activa máxima L2	Float	W	-	R
103	2	Potencia activa máxima L3	Float	W	-	R
105	2	Potencia reactiva máxima L1 (Qn)	Float	var	-	R

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
107	2	Potencia reactiva máxima L1 (Qn)	Float	var	–	R
109	2	Potencia reactiva máxima L1 (Qn)	Float	var	–	R
111	2	Factor de potencia máximo L1	Float	–	0 ... 1	R
113	2	Factor de potencia máximo L2	Float	–	0 ... 1	R
115	2	Factor de potencia máximo L3	Float	–	0 ... 1	R
117	2	THD-R máxima en tensión L1-L2	Float	%	0 ... 100	R
119	2	THD-R máxima en tensión L2-L3	Float	%	0 ... 100	R
121	2	THD-R máxima en tensión L3-L1	Float	%	0 ... 100	R
123	2	THD-R máxima en corriente L1	Float	%	0 ... 100	R
125	2	THD-R máxima en corriente L2	Float	%	0 ... 100	R
127	2	THD-R máxima en corriente L3	Float	%	0 ... 100	R
129	2	Frecuencia máxima	Float	–	45 ... 65	R
131	2	Tensión media máx. UL-N	Float	V	–	R
133	2	Tensión media máx. UL-L	Float	V	–	R
135	2	Corriente media máx.	Float	A	–	R
137	2	Potencia aparente total máxima	Float	VA	–	R
139	2	Potencia activa total máxima	Float	W	–	R
141	2	Potencia reactiva total máxima (Qn)	Float	var	–	R
143	2	Factor de potencia total máximo	Float	–	–	R
145	2	Tensión mínima L1-N	Float	V	–	R
147	2	Tensión mínima L2-N	Float	V	–	R
149	2	Tensión mínima L3-N	Float	V	–	R
151	2	Tensión mínima L1-L2	Float	V	–	R
153	2	Tensión mínima L2-L1	Float	V	–	R
155	2	Tensión mínima L3-L1	Float	V	–	R
157	2	Corriente mínima L1	Float	A	–	R
159	2	Corriente mínima L2	Float	A	–	R
161	2	Corriente mínima L3	Float	A	–	R
163	2	Potencia aparente mínima L1	Float	VA	–	R
165	2	Potencia aparente mínima L2	Float	VA	–	R
167	2	Potencia aparente mínima L3	Float	VA	–	R
169	2	Potencia activa mínima L1	Float	W	–	R
171	2	Potencia activa mínima L2	Float	W	–	R
173	2	Potencia activa mínima L3	Float	W	–	R
175	2	Potencia reactiva mínima L1 (Qn)	Float	var	–	R
177	2	Potencia reactiva mínima L1 (Qn)	Float	var	–	R
179	2	Potencia reactiva mínima L1 (Qn)	Float	var	–	R
181	2	Factor de potencia mínimo L1	Float	–	0 ... 1	R
183	2	Factor de potencia mínimo L2	Float	–	0 ... 1	R
185	2	Factor de potencia mínimo L3	Float	–	0 ... 1	R
187	2	Frecuencia mínima	Float	Hz	45 ... 65	R

Anexo

A.1 Modbus

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
189	2	Tensión media mín. UL	Float	V	–	R
191	2	Tensión media mín. UL-L	Float	V	–	R
193	2	Corriente media mín.	Float	A	–	R
195	2	Potencia aparente total mínima	Float	VA	–	R
197	2	Potencia activa total mínima	Float	W	–	R
199	2	Potencia reactiva total mínima (Qn)	Float	var	–	R
201	2	Factor de potencia total mínimo	Float	var	–	R
203	2	Infracciones de límites	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Limit 0 Byte3 Bit1 Limit 1 Byte3 Bit2 Limit 2 Byte3 Bit3 Limit 3 Byte3 Bit4 Limit 4 Byte3 Bit5 Limit 5 Byte0 Bit0 Limit comb.	R
205	2	Diagnóstico PMD y estado	Unsigned long	–	Byte0 global state Byte1 local state Byte2 global diag. Byte3 local diag.	R
207	2	Estado de salidas digitales	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Output 0.0 Byte3 Bit1 Output 0.1	R
209	2	Estado de entradas digitales	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Input 0.0 Byte3 Bit1 Input 0.1	R
211	2	Tarifa activa	Unsigned long	–	0 = Tarifa 1 1 = Tarifa 2	R
213	2	Contador de horas de funcionamiento	Unsigned long	s	0 ... 999999999	RW
215	2	Contador (configurable)	Unsigned long	–	0 ... 999999999	RW
217	2	Contador de cambios en parámetros básicos	Unsigned long	–	–	R
219	2	Contador de cambios en todos los parámetros	Unsigned long	–	–	R
221	2	Contador de cambios de límites	Float	–	–	R
223	2	Corriente N	Float	A	–	R
225	2	Corriente máxima N	Float	A	–	R
227	2	Corriente mínima N	Float	A	–	R
231	2	Contador de energía configurable	Float	kWh, kvarh	–	R
233	2	Estado de salidas digitales, módulo 1	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Output 4.0 Byte3 Bit0 Output 4.1	R
235	2	Estado de entradas digitales, módulo 1	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Input 4.0 Byte3 Bit1 Input 4.1 Byte3 Bit2 Input 4.2 Byte3 Bit3 Input 4.3	R

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
237	2	Estado de salidas digitales, módulo 2	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Output 8.0 Byte3 Bit0 Output 8.1	R
239	2	Estado de entradas digitales, módulo 2	Unsigned long	–	Byte3 Bit0 Input 8.0 Byte3 Bit1 Input 8.1 Byte3 Bit2 Input 8.2 Byte3 Bit3 Input 8.3	R
501	2	Media de potencia activa acumulada importada	Float	W	–	R
503	2	Media de potencia reactiva acumulada importada	Float	var	–	R
505	2	Media de potencia activa acumulada exportada	Float	W	–	R
507	2	Media de potencia reactiva acumulada exportada	Float	var	–	R
509	2	Valor máx. de potencia activa en el periodo de demanda	Float	W	–	R
511	2	Valor mín. de potencia activa en el periodo de demanda	Float	W	–	R
513	2	Valor máx. de potencia reactiva en el periodo de demanda	Float	var	–	R
515	2	Valor mín. de potencia reactiva en el periodo de demanda	Float	var	–	R
517	2	Duración del periodo de demanda actual	Unsigned long	s	–	R
519	2	Tiempo desde comienzo de periodo de demanda actual	Unsigned long	s	–	R
799	2	Fecha/hora	Unix_ts	–	–	RW
801	4	Energía activa total importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
805	4	Energía activa total importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
809	4	Energía activa total exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
813	4	Energía activa total exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
817	4	Energía reactiva total importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
821	4	Energía reactiva total importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
825	4	Energía reactiva total exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
829	4	Energía reactiva total exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
833	4	Energía aparente total, tarifa 1	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
837	4	Energía aparente total, tarifa 2	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
841	4	L1 energía activa importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW

Anexo

A.1 Modbus

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
845	4	L1 energía activa importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
849	4	L1 energía activa exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
853	4	L1 energía activa exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
857	4	L1 energía reactiva importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
861	4	L1 energía reactiva importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
865	4	L1 energía reactiva exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
869	4	L1 energía reactiva exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
873	4	L1 energía aparente, tarifa 1	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
877	4	L1 energía aparente, tarifa 2	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
881	4	L2 energía activa importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
885	4	L2 energía activa importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
889	4	L2 energía activa exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
893	4	L2 energía activa exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
897	4	L2 energía reactiva importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
901	4	L2 energía reactiva importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
905	4	L2 energía reactiva exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
909	4	L2 energía reactiva exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
913	4	L2 energía aparente, tarifa 1	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
917	4	L2 energía aparente, tarifa 2	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
921	4	L3 energía activa importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
925	4	L3 energía activa importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
929	4	L3 energía activa exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
933	4	L3 energía activa exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
937	4	L3 energía reactiva importada, tarifa 1	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
941	4	L3 energía reactiva importada, tarifa 2	Double	Wh	Overflow 1.0e+12	RW
945	4	L3 energía reactiva exportada, tarifa 1	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
949	4	L3 energía reactiva exportada, tarifa 2	Double	varh	Overflow 1.0e+12	RW
953	4	L3 energía aparente, tarifa 1	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW
957	4	L3 energía aparente, tarifa 2	Double	VAh	Overflow 1.0e+12	RW

ANEXO D: Algoritmos de predicción del factor de potencia.

# Algoritmo para la predicción del factor de potencia mediante Una Red Neuronal

Nombre: Esdras Salomón Enríquez López

---

## PASO 1. Lectura y Carga de Datos del DataSet

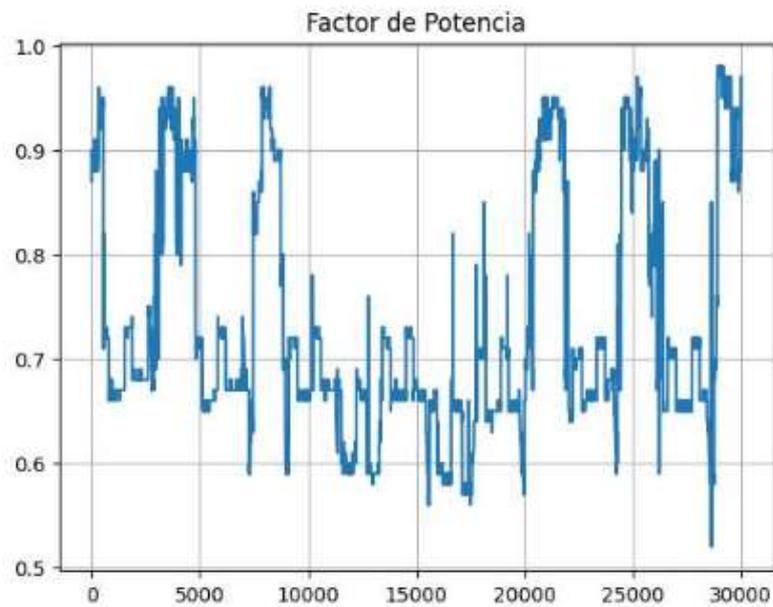
```
In [ ]: from google.colab import drive
# Conectar con Drive
drive.mount('/content/drive')

Mounted at /content/drive

In [1]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Leer Los datos (Read DataSets)
data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/DataSet/DataSet30000.csv')
Voltaje= np.array(data['field1'])
Corriente= np.array(data['field2'])
Potencia= np.array(data['field3'])
data_t = np.array([Voltaje, Corriente, Potencia]).T
FP= np.array(data['field4'])
tiempo=np.arange(0, len(FP), 1)
plt.grid()
plt.plot(tiempo, FP, '-')
plt.title('Factor de Potencia')

Out[1]: Text(0.5, 1.0, 'Factor de Potencia')
```



## PASO 2. Generar el modelo

```
In [20]: from tensorflow.keras import models
from tensorflow.keras import layers

# Definir un modelo Secuencial
model = models.Sequential()

# Capa de Entrada
model.add(layers.Dense(units=16, kernel_initializer='normal', activation='relu',

# Múltiples Capas Ocultas
model.add(layers.Dense(units=32, activation='relu', input_shape=(16, )))
model.add(layers.Dense(units=64, activation='relu', input_shape=(32, )))
model.add(layers.Dense(units=64, activation='relu', input_shape=(64, )))
model.add(layers.Dense(units=128, activation='relu', input_shape=(64, )))
model.add(layers.Dense(units=64, activation='relu', input_shape=(128, )))
model.add(layers.Dense(units=32, activation='relu', input_shape=(64, )))
model.add(layers.Dense(units=16, activation='relu', input_shape=(32, )))
model.add(layers.Dense(units=8, activation='relu', input_shape=(16, )))

# Capa de Salida
model.add(layers.Dense(units=1, activation='linear'))

# Imprimir el modelo
print(model.summary())
```

Model: "sequential\_2"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_20 (Dense)	(None, 16)	64
dense_21 (Dense)	(None, 32)	544
dense_22 (Dense)	(None, 64)	2112
dense_23 (Dense)	(None, 64)	4160
dense_24 (Dense)	(None, 128)	8320
dense_25 (Dense)	(None, 64)	8256
dense_26 (Dense)	(None, 32)	2080
dense_27 (Dense)	(None, 16)	528
dense_28 (Dense)	(None, 8)	136
dense_29 (Dense)	(None, 1)	9

```

Total params: 26209 (102.38 KB)
Trainable params: 26209 (102.38 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)

```

None

### PASO 3. Definir parametros de Entrenamiento

```
In [21]: # Parametros de Entrenamiento
model.compile(loss='mse', optimizer='adam', metrics=['mean_squared_error'])
```

### PASO 4. Entrenamiento de la red neuronal

```
In [24]: from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.model_selection import KFold
from sklearn.utils import shuffle
from keras import callbacks

# Definir la estructura KFold
from matplotlib.patches import Patch
cmap_cv = plt.cm.coolwarm
cmap_data = plt.cm.coolwarm
def plot_cv_indices(cv, X, y, n_splits, lw=10):
    """Create a sample plot for indices of a cross-validation object."""

    # Generate the training/testing visualizations for each CV split
    for ii, (tr, tt) in enumerate(cv.split(X=X, y=y)):
        # Fill in indices with the training/test groups
        indices = np.array([np.nan] * len(X))
        indices[tt] = 1
        indices[tr] = 0

        # Visualize the results
        ax.scatter(
```

```

        range(len(indices)),
        [ii + 0.5] * len(indices),
        c=indices,
        marker="_",
        lw=lw,
        cmap=cmap_data,
        vmin=-0.2,
        vmax=1.2,
    )

    # Formatting
    yticklabels = list(range(n_splits))
    ax.set(
        yticks=np.arange(n_splits) + 0.5,
        yticklabels=[1,2,3,4,5],
        xlabel="Sample index",
        ylabel="CV iteration",
        ylim=[n_splits, -0.2],
        xlim=[0, 100],
    )
    ax.legend(
        [Patch(color=cmap_cv(0.8)), Patch(color=cmap_cv(0.02))],
        ["Testing set", "Training set"],
        loc=(1.02, 0.8),
    )
    ax.set_title("{}".format(type(cv).__name__), fontsize=15)
    return ax

from sklearn.model_selection import KFold
fig, ax = plt.subplots()
cv = KFold(n_splits=5, shuffle=True, random_state=10)
plot_cv_indices(kf, data_t, FP, 5)

kf = KFold(n_splits=5, shuffle=True, random_state=10)
x_t=np.arange(0,kf.n_splits,1)
k=0
error_ =[]
acc_ =[]
a_=[]
fold_n=1

# Procesamiento de datos
for train_index,test_index in kf.split(data_t):
    x_train, x_test, y_train, y_test= data_t[train_index],data_t[test_index],FP[train

# Entrenamiento de La red neuronal
earlystopping = callbacks.EarlyStopping(monitor = "val_loss", mode = "min", patience
model.fit(x_test, y_test, epochs=200, batch_size=2048, validation_split=0.20, ver

#Guardar el modelo
#model2.save('/content/drive/MyDrive/DataSet/CV_Test/model_fold_'+str(fold_n)+''.f
fold_n +=1

# Validacion del modelo
plt.figure()
loss_value = model.history.history['loss']
val_loss = model.history.history['val_loss']

plt.plot(loss_value, 'o-b', label = 'Error de Entrenamiento')
plt.plot(val_loss, '*-g', label = 'Error Validacion')
plt.grid()
plt.legend()

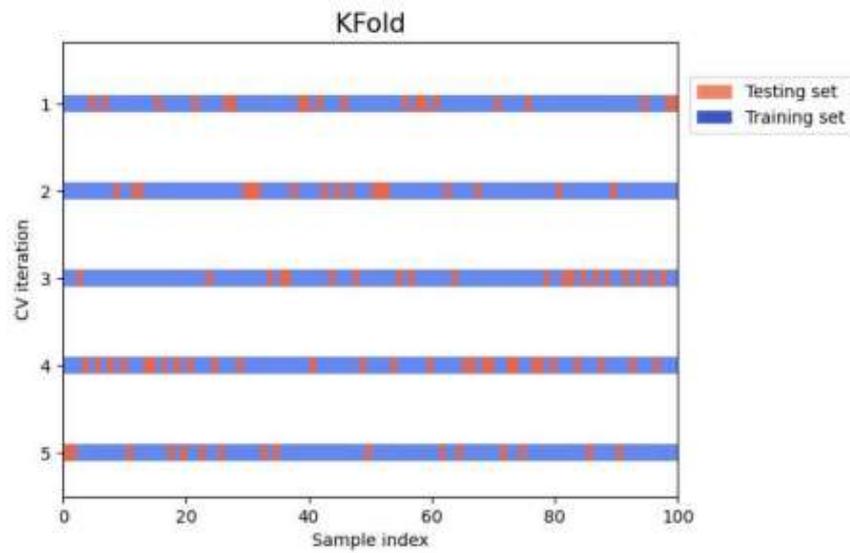
```

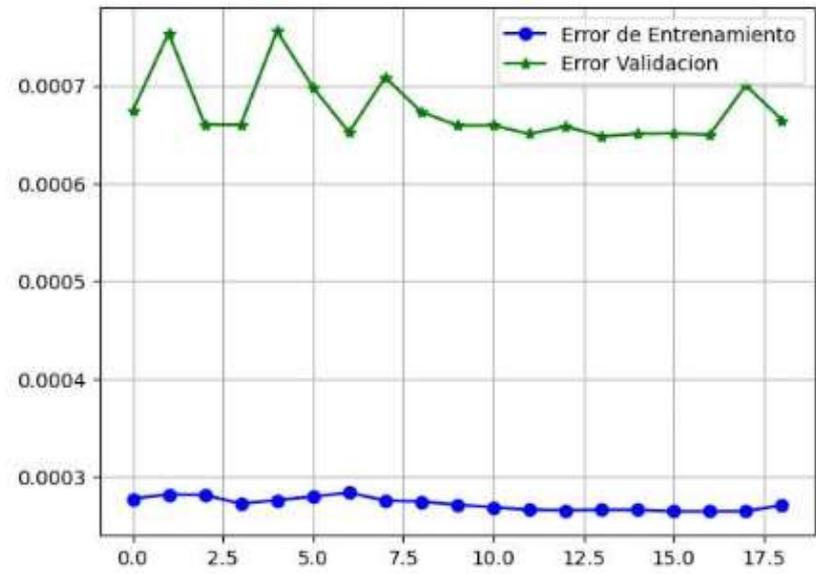
```
plt.show()

from sklearn.metrics import mean_squared_error
y_predic = model.predict(x_test)
plt.figure()
plt.plot(y_test, 'ob', label = 'Test')
plt.plot(y_predic, '*g', label = 'Prediccion')
plt.grid()
plt.legend()
plt.show()

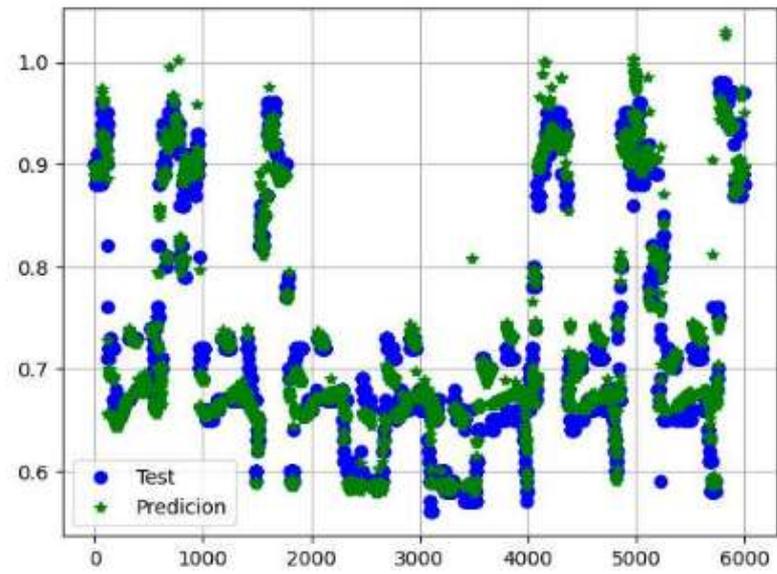
# Verificar el error
from sklearn.metrics import mean_squared_error
y_predic = model.predict(x_test)
error = mean_squared_error(y_test,y_predic, squared=False)
error_.append(error)

print(f'Error Cuatradito Medio: {error_}')
```

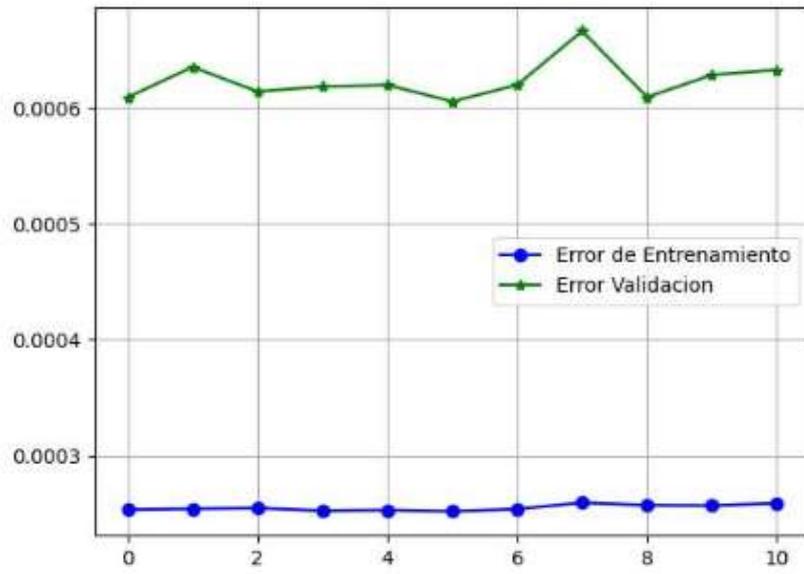




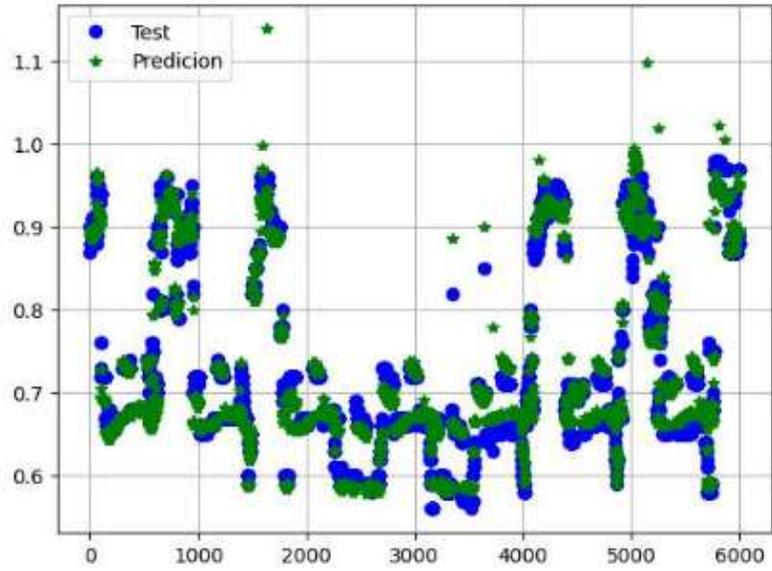
188/188 [-----] - 0s 2ms/step



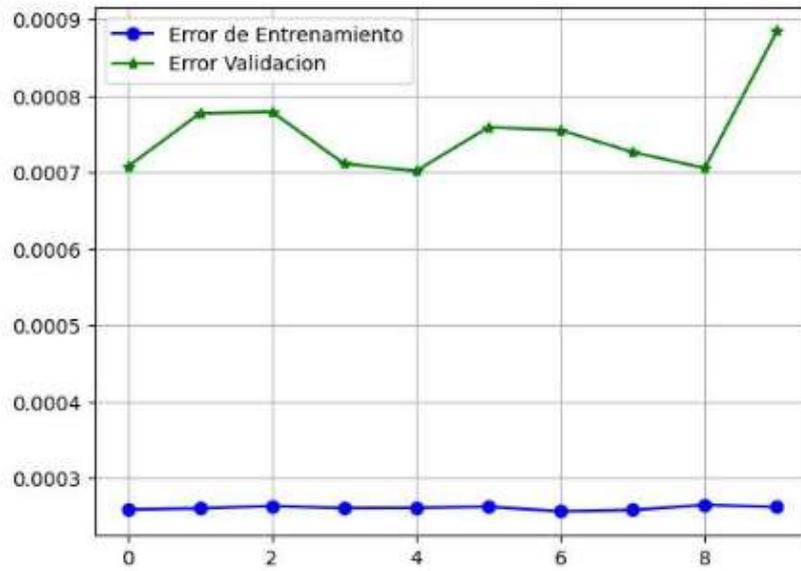
188/188 [-----] - 0s 2ms/step



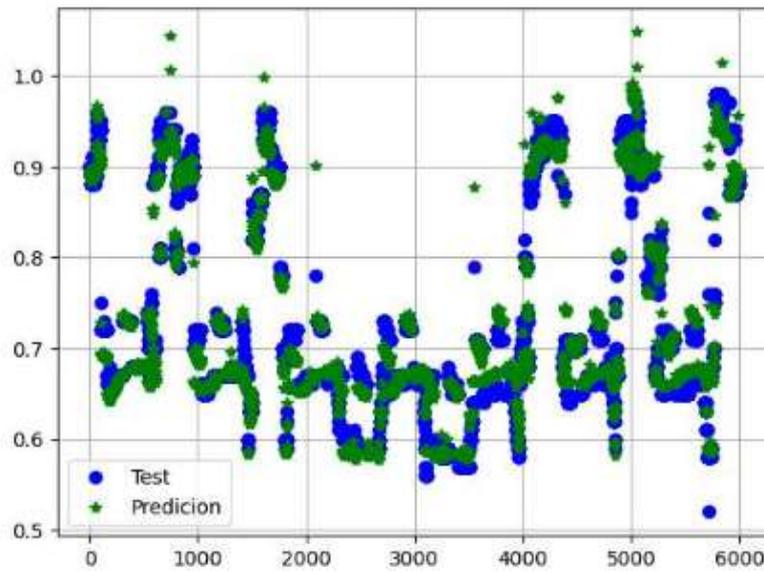
188/188 [=====] - 0s 2ms/step



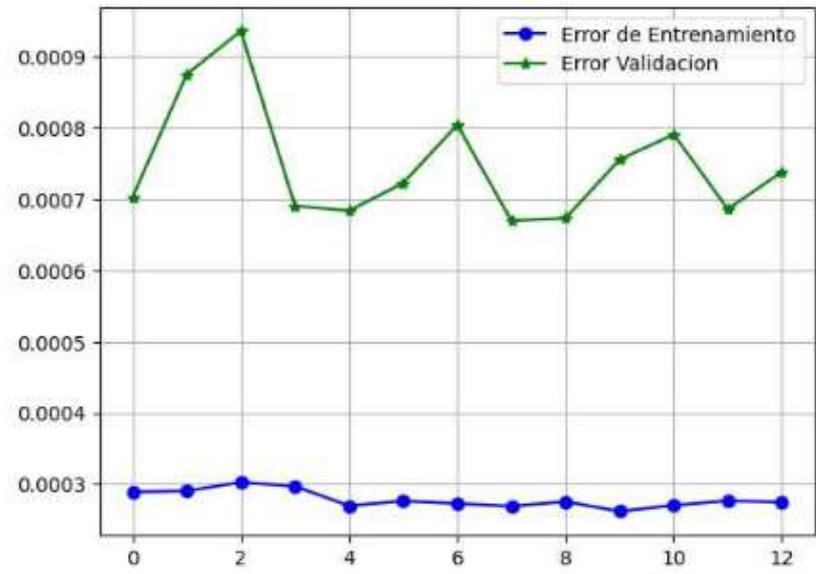
188/188 [=====] - 0s 2ms/step



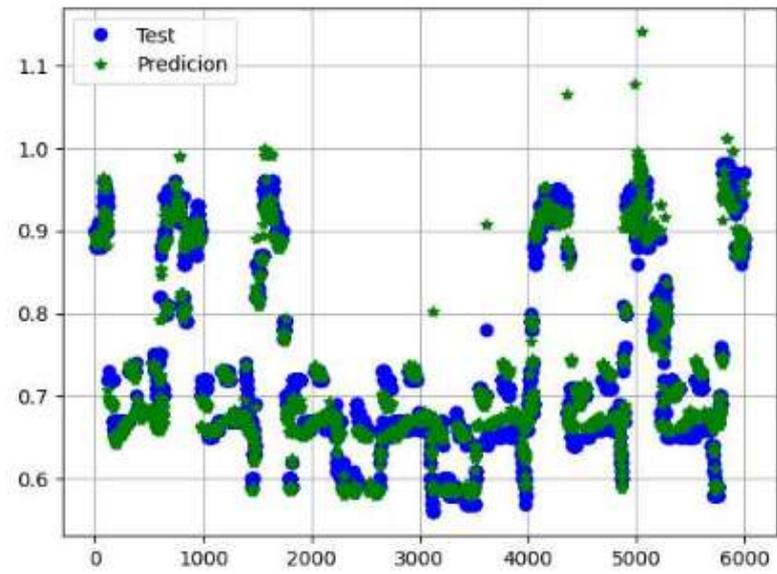
188/188 [-----] - 1s 3ms/step



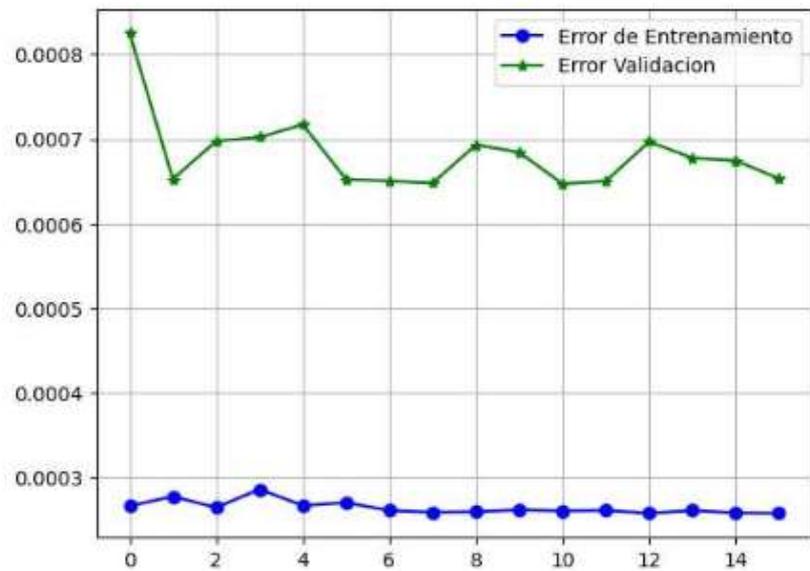
188/188 [-----] - 1s 3ms/step



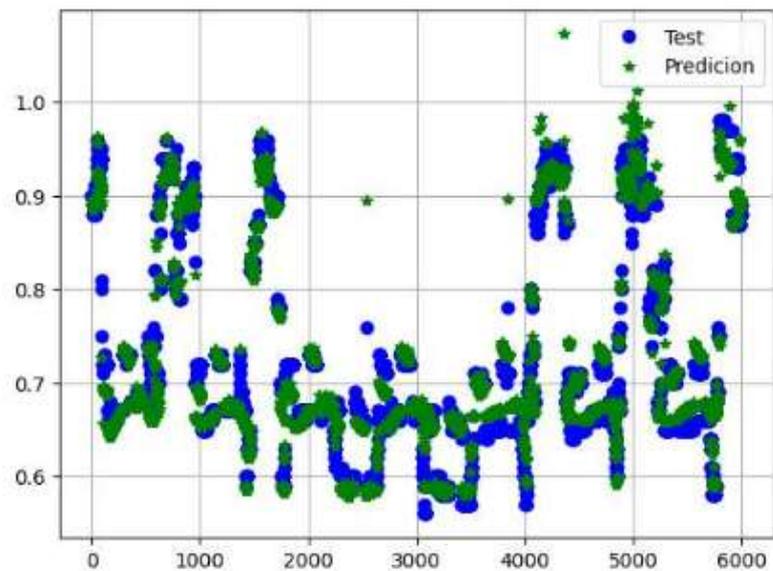
188/188 [=====] - 0s 2ms/step



188/188 [=====] - 0s 2ms/step



188/188 [=====] - 0s 2ms/step



188/188 [=====] - 0s 2ms/step

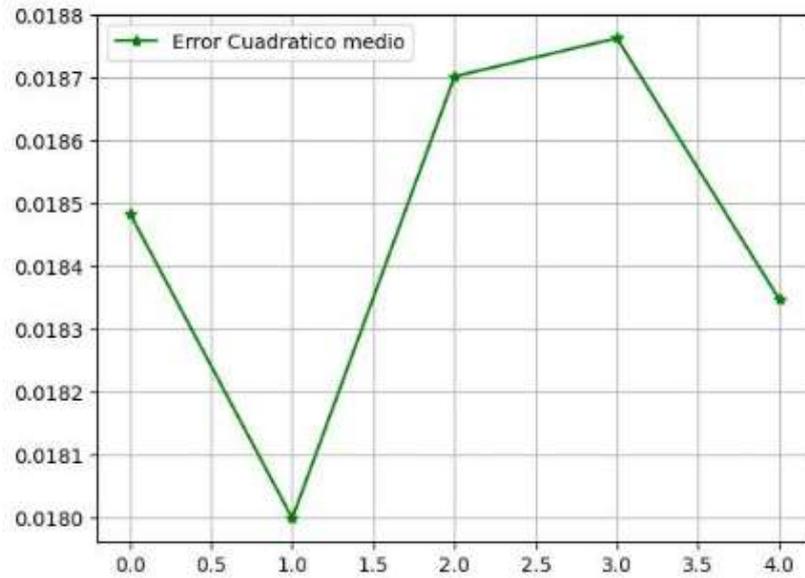
Error Cuadrado Medio: [0.018483822438523628, 0.017998528434259232, 0.01870209024124806, 0.018762881935744578, 0.018347022731348552]

## PASO 5. Determinar el error Cuadratico medio

```
In [25]: import numpy as np

plt.plot(error_, '*-g', label = 'Error Cuadratico medio')
plt.grid()
plt.legend()
```

```
plt.show()  
print(np.mean(error_))
```

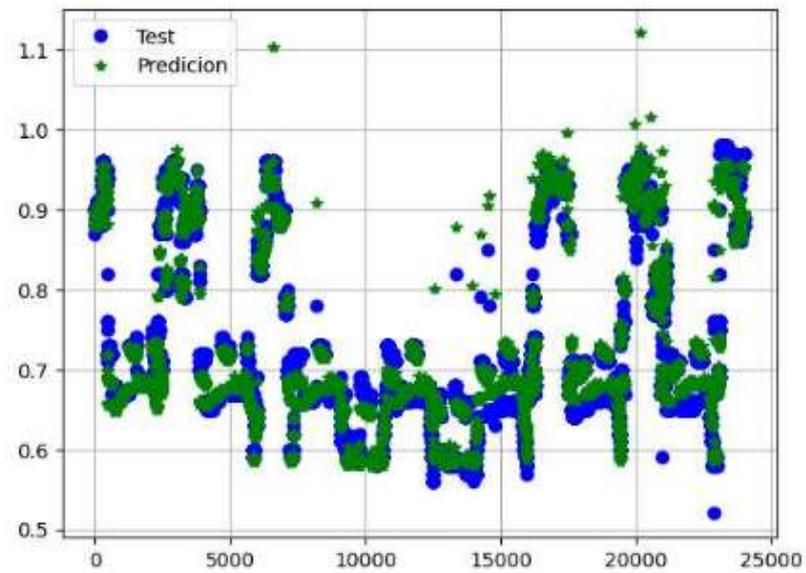


0.01845886915622481

## 6. Realizar la predicción

```
In [16]: y_testp = np.array(model.predict(x_train))  
plt.plot(y_train, 'ob', label = 'Test')  
plt.plot(y_testp, '*g', label = 'Prediccion')  
plt.grid()  
plt.legend()  
plt.show()  
print(y_testp)  
print(y_test)
```

750/750 [=====] - 1s 2ms/step



```
[[0.8833988 ]
 [0.89351934]
 [0.8946386 ]
 ...
 [0.9530126 ]
 [0.95289093]
 [0.9534971 ]]
[0.9 0.9 0.9 ... 0.88 0.88 0.88]
```

```
In [26]: # Predecir el Error
from sklearn.metrics import mean_squared_error
y_predict1 = model.predict(x_train)
error = mean_squared_error(y_train,y_predict1, squared=False)
print(f'Error Cuadrado Medio: {error}')

750/750 [=====] - 2s 2ms/step
Error Cuadrado Medio: 0.018352274478047492
```

# Algoritmo para la predicción del factor de potencia mediante Regresión Lineal Multiple

Nombre: Esdras Salomón Enríquez López

---

## PASO 1. Leer y Carga de Datos del DataSet

```
In [ ]: from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

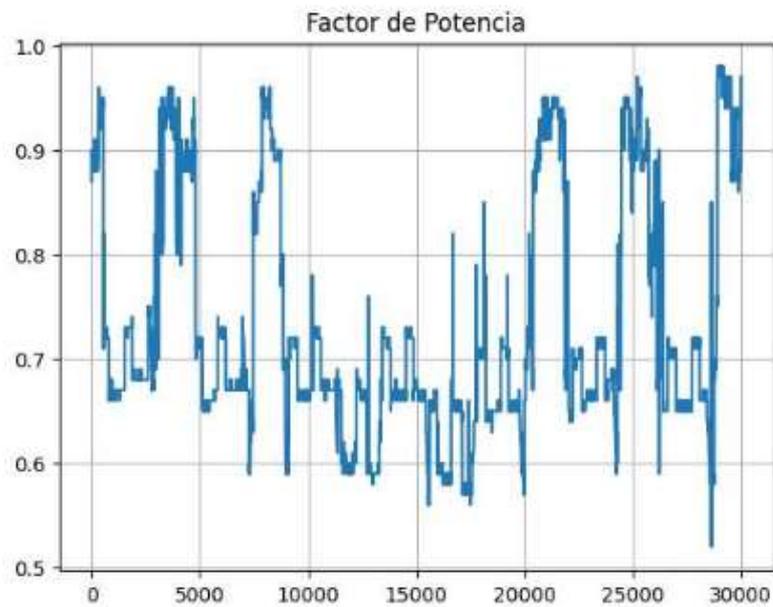
Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force\_remount=True).

```
In [26]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#1. Leer los datos (Read DataSets)

data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/DataSet/DataSet30000.csv')
Voltaje= np.array(data['field1'])
Corriente= np.array(data['field2'])
Potencia= np.array(data['field3'])
data_t = np.array([Voltaje, Corriente, Potencia]).T
FP= np.array(data['field4'])
tiempo=np.arange(0, len(FP), 1)
plt.grid()
plt.plot(tiempo, FP, '-')
plt.title('Factor de Potencia')
```

Out[26]: Text(0.5, 1.0, 'Factor de Potencia')



## PASO 2. Preparacion y Procesamiento de datos

```
In [2]: #2. Procesamiento de datos

from sklearn.model_selection import train_test_split
# Definir los datos de entrenamiento y validacion
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(data_t, FP, test_size=0.2, shuf
```

```
In [7]: #3. Modelo de regresion lineal múltiple

from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error
x = data_t
y = FP
model = LinearRegression()
model.fit(x_train, y_train)

print(f'Intercepto: {model.intercept_}')
print(f'Pendiente: {model.coef_.flatten()}')
print(f'Coeficiente de determinacion R2: {model.score(x_test, y_test)}')

b0 = model.intercept_
[b1,b2,b3] = model.coef_.flatten()
x1 = Voltaje
x2 = Corriente
x3 = Potencia
#y_model = b0 + b1*x1 + b2*x2 + b3*x3

y_model = model.predict(x_test)
error = mean_squared_error(y_test,y_model, squared=False)
print(f'Error Cuadrado Medio: {error}')
```

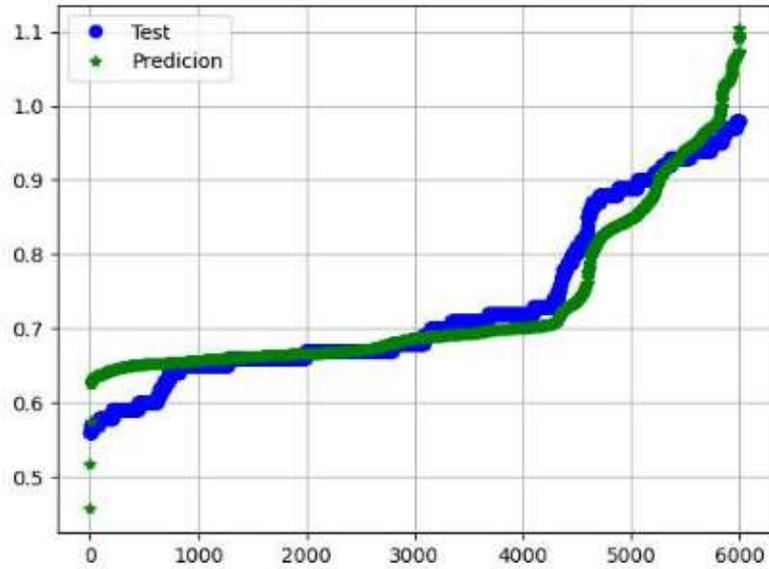
```
plt.grid()
plt.plot(sorted(y_test), 'ob', label = 'Test')
plt.plot(sorted(y_model), '*g', label = 'Prediccion')
plt.legend()
plt.show()
```

Intercepto: 1.1969344186419844

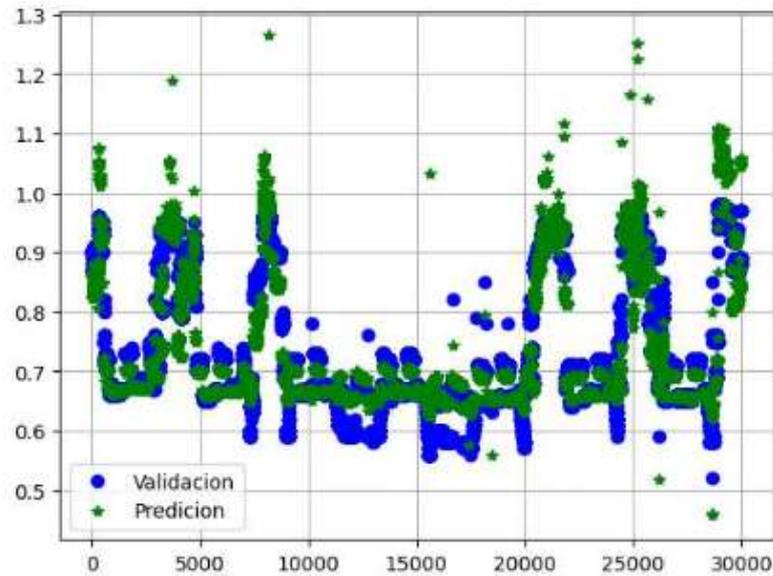
Pendiente: [-0.00329556 -0.24654375 0.00077463]

Coefficiente de determinacion R2: 0.9100288447811496

Error Cuadrado Medio: 0.03387976671008887



```
In [8]: #Validacion del modelo
y_model = model.predict(x)
plt.grid()
plt.plot(y, 'ob', label = 'Validacion')
plt.plot(y_model, '*g', label = 'Prediccion')
plt.legend()
plt.show()
```



```
In [40]: #Procesamiento de datos
from scipy.stats import pearsonr
import seaborn as sb
import pandas as pd

data2= data.rename(columns ={'field1':'Voltaje','field2':'Corriente','field3':'Potencia','field4':'FP'})
data2.columns
d=(data2['Voltaje'],data2['Corriente'],data2['Potencia'],data2['FP'])

corr_t = pd.DataFrame(d).T
#Correlacion de las variables
corr_t.corr()
```

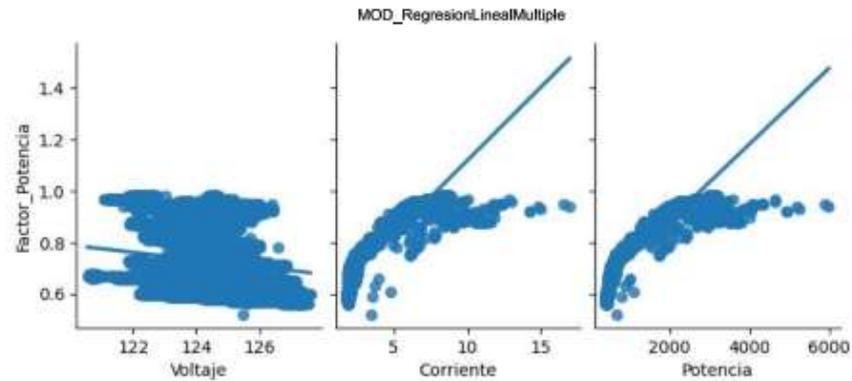
```
Out[40]:
```

	Voltaje	Corriente	Potencia	FP
Voltaje	1.000000	-0.120110	-0.119845	-0.140519
Corriente	-0.120110	1.000000	0.998397	0.913533
Potencia	-0.119845	0.998397	1.000000	0.927601
FP	-0.140519	0.913533	0.927601	1.000000

```
In [41]: import statsmodels.api as sm # Estadísticas R Adjusted
import seaborn as sns # Gráficos
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

datan = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/DataSet/DataNew.csv')
(sns.pairplot(datan, x_vars=['Voltaje','Corriente','Potencia'], y_vars='Factor_Potencia'))
```

```
Out[41]: <seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x7ff6410035b0>
```



### PASO 3. Entrenamiento del modelo

```
In [42]: #Transformacion Polinomial
from matplotlib.artist import Transform
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
import numpy as np

poly = PolynomialFeatures(degree = 5)
x_poly = poly.fit_transform(x_train)
x_poly_t = poly.transform(x_test)

poly_model = LinearRegression()

#Entrenar el modelo
poly_model.fit(x_poly, y_train)
y_pred = poly_model.predict(x_poly_t)
f = poly.transform([[124, 8, 1200]])
print(poly.get_feature_names_out(['V', 'C', 'P']))
print(poly_model.intercept_)
print(poly_model.coef_)

['1' 'V' 'C' 'P' 'V^2' 'V C' 'V P' 'C^2' 'C P' 'P^2' 'V^3' 'V^2 C' 'V^2 P'
'V C^2' 'V C P' 'V P^2' 'C^3' 'C^2 P' 'C P^2' 'P^3' 'V^4' 'V^3 C' 'V^3 P'
'V^2 C^2' 'V^2 C P' 'V^2 P^2' 'V C^3' 'V C^2 P' 'V C P^2' 'V P^3' 'C^4'
'C^3 P' 'C^2 P^2' 'C P^3' 'P^4' 'V^5' 'V^4 C' 'V^4 P' 'V^3 C^2' 'V^3 C P'
'V^3 P^2' 'V^2 C^3' 'V^2 C^2 P' 'V^2 C P^2' 'V^2 P^3' 'V C^4' 'V C^3 P'
'V C^2 P^2' 'V C P^3' 'V P^4' 'C^5' 'C^4 P' 'C^3 P^2' 'C^2 P^3' 'C P^4'
'P^5']
-1.2642847363145733
[ 9.09976433e-12  3.33125870e-07 -5.73606896e-09  1.54263557e-09
 -7.13627340e-10  8.74084273e-10  9.71565882e-08  9.24230597e-11
 1.32624775e-08 -9.01673230e-08 -4.44028362e-08  3.38244483e-08
 4.03521402e-06  4.41514929e-09  5.54449238e-07 -3.73086432e-07
 6.66866623e-10  7.83999784e-08  1.22329711e-05 -2.54501318e-08
 3.62038062e-08 -2.83762175e-07 -5.97003958e-08  7.07696210e-08
 -2.53707063e-07  6.28368300e-09  4.06977115e-08  4.50156621e-07
 -1.77774484e-07  3.68556664e-10  7.80013921e-10  1.13205640e-08
 4.89919871e-08 -7.65880060e-10  1.55185429e-12 -2.25492069e-10
 1.14822059e-09  2.24607506e-10 -1.38662662e-07  3.06263490e-09
 -2.84298188e-11  4.61684135e-06 -4.77442027e-08  7.46149003e-10
 -1.36654875e-12  9.28996631e-08  9.37876545e-07 -7.53765857e-09
 2.52999849e-11 -3.08457236e-14  5.65345091e-09  3.24198537e-07
 -4.42198857e-08  3.42599461e-10 -9.22289063e-13  8.48797952e-16]
```

### PASO 4. Prediccion del factor de potencia

```
In [52]: from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
import numpy as np

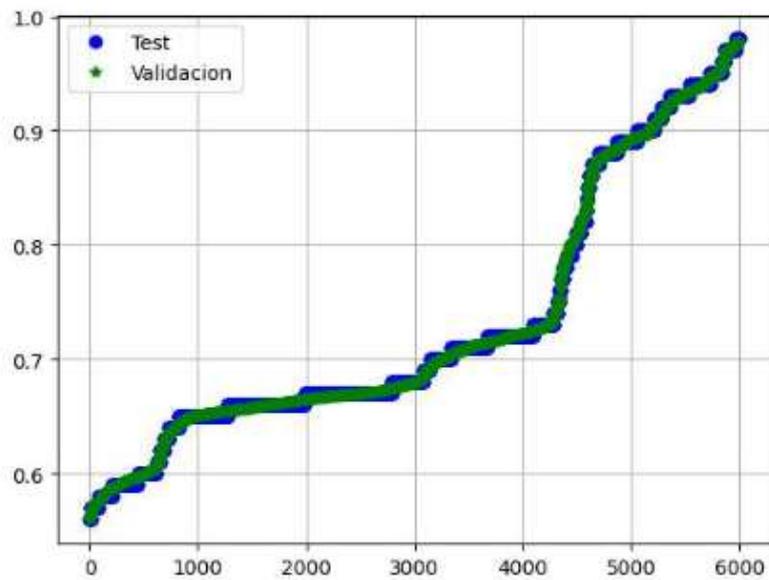
score_test = poly_model.score(x_poly_t,y_test)
score_val = poly_model.score(x_poly_t,y_pred)
print(f'Score Test: {score_test}')
print(f'Score Validacion: {score_val}')
plt.grid()
plt.plot(sorted(y_test),'ob', label = 'Test')
plt.plot(sorted(y_pred),'*g', label = 'Validacion')
plt.legend()
plt.show()

from sklearn.metrics import mean_squared_error

error = mean_squared_error(y_test,y_pred, squared=False)
print(f'Error Cuadrado Medio: {error}')
```

Score Test: 0.9985613052422128

Score Validacion: 1.0



Error Cuadrado Medio: 0.00420423311111043

```
In [ ]: # Guardar el Modelo
import pickle
filename = '/content/drive/MyDrive/DataSet/RegresionLineal/modelRegresionLineal.pk'
pickle.dump(poly_model, open(filename, 'wb'))
```

# Algoritmo para la predicción del factor de potencia mediante Random Forest

Nombre: Esdras Salomón Enríquez López

---

## PASO 1. Leer y Carga de Datos del DataSet

```
In [ ]: from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

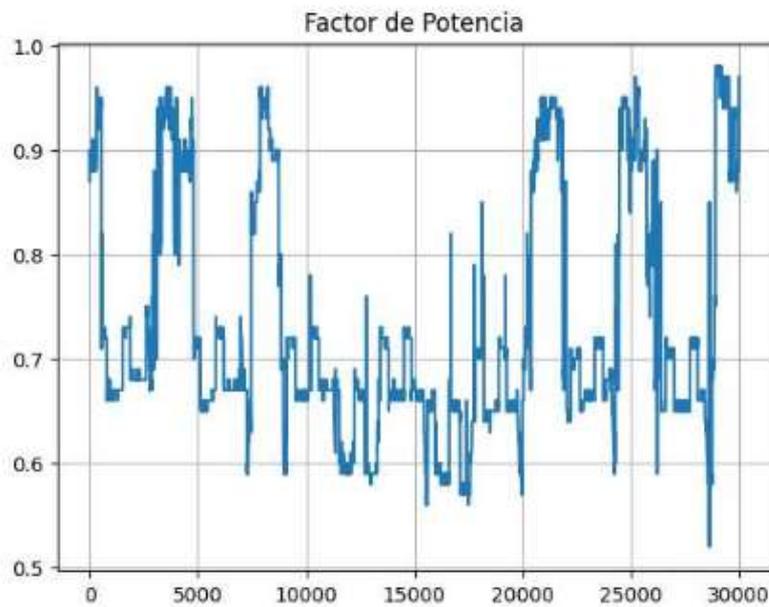
Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force_remount=True).
```

```
In [3]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#Leer los datos (Read DataSets)

data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/DataSet/DataSet30000.csv')
Voltaje= np.array(data['field1'])
Corriente= np.array(data['field2'])
Potencia= np.array(data['field3'])
data_t = np.array([Voltaje, Corriente, Potencia]).T

FP= np.array(data['field4'])
tiempo=np.arange(0, len(FP), 1)
plt.grid()
plt.plot(tiempo, FP, '-')
plt.title('Factor de Potencia')
plt.show()
```



```
In [4]: from scipy.stats import pearsonr
import seaborn as sb
import pandas as pd
d= (data['field1'],data['field2'],data['field3'],data['field4'])
data = pd.DataFrame(d).T
print(data)
data.info()
```

	field1	field2	field3	field4
0	124.73	4.84	1588.62	0.87
1	124.67	5.02	1691.05	0.90
2	124.78	5.01	1689.18	0.90
3	124.74	4.99	1682.68	0.90
4	124.80	5.01	1690.87	0.90
...	...	...	...	...
29994	125.00	7.40	2690.72	0.97
29995	125.06	7.41	2696.62	0.97
29996	125.19	7.57	2755.98	0.97
29997	125.15	7.59	2765.70	0.97
29998	125.18	7.65	2790.04	0.97

```
[29999 rows x 4 columns]
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 29999 entries, 0 to 29998
Data columns (total 4 columns):
#   Column  Non-Null Count  Dtype
---  -
0   field1  29999 non-null    float64
1   field2  29999 non-null    float64
2   field3  29999 non-null    float64
3   field4  29999 non-null    float64
dtypes: float64(4)
memory usage: 937.6 KB
```

## PASO 2. Procesamiento de datos

```
In [6]: #2. Procesamiento de datos

import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split

# Definir los datos de entrenamiento
data_t = data.drop(['field4'],axis=1)
FP = data.field4
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(data_t, FP, test_size=0.2, shuf
```

### PASO 3. Definir el modelo

```
In [8]: from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
import numpy as np
ac_test = []
ac_train = []

BA_model = RandomForestRegressor(n_estimators = 100, criterion = "squared_error", ma
, max_features="sqrt", random_state = 20, min_samp

#Entrenamiento del modelo
BA_model.fit(x_train, y_train)

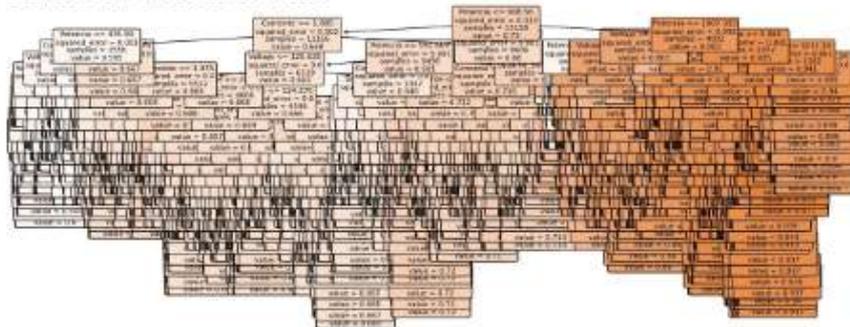
#Estimacion del puntaje
ac_test = BA_model.score(x_test, y_test)
ac_train = BA_model.score(x_train, y_train)

print(f'Score test: {ac_test}' )
print(f'Score train: {ac_train}')

from sklearn import tree
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier, plot_tree

estimator = BA_model.estimator_
plt.figure(figsize=(15, 6))
chosen_tree = BA_model.estimators_[1]
plot_tree(chosen_tree, filled=True, rounded=True, fontsize=8, feature_names=["Voltaje",
plt.show()

Score test: 0.997081832173838
Score train: 0.9986358370361187
```

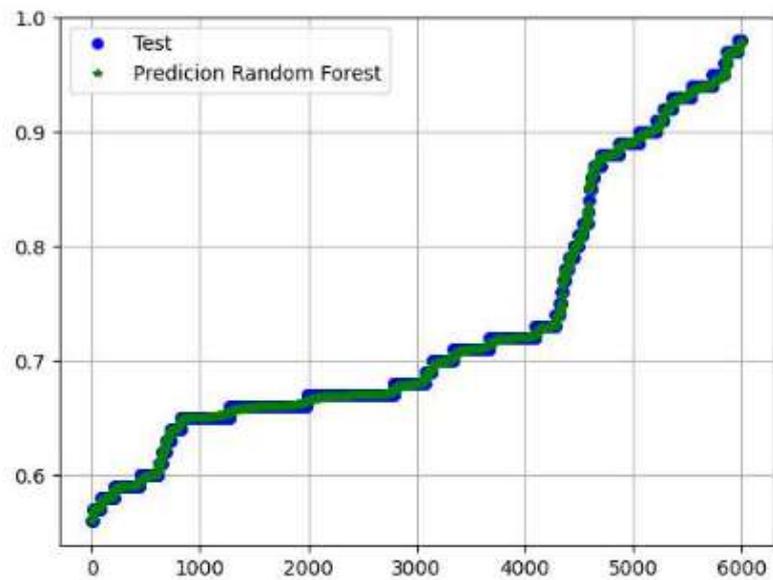


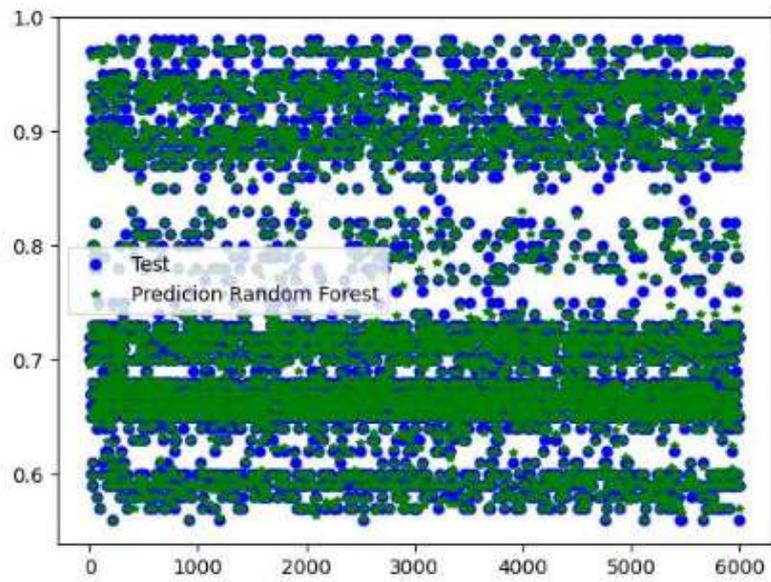
### PASO 4. Predicción del modelo

```
In [14]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.metrics import mean_squared_error

y_predict = BA_model.predict(x_test)
error = mean_squared_error(y_test,y_predict, squared=False)
print(f'Error Cuadratico medio (error)')
plt.figure()
plt.plot(sorted(np.array(y_test)), 'ob', label = 'Test', markersize=5 )
plt.plot(sorted(y_predict), '*g', label = 'Prediccion Random Forest', markersize=4 )
plt.grid()
plt.legend()
plt.figure()
plt.plot(np.array(y_test), 'ob', label = 'Test', markersize=5 )
plt.plot(y_predict, '*g', label = 'Prediccion Random Forest', markersize=4 )
plt.legend()
plt.show()
```

Error Cuadratico medio 0.0061016022740804495





```
In [ ]: # save the model to disk
import pickle
filename = '/content/drive/MyDrive/DataSet/RandomForest/modelRandomForest.pkl'
pickle.dump(BA_model, open(filename, 'wb'))
```

# Evaluacion de los algoritmos

Nombre: Esdras Salomón Enríquez López

---

## PASO 1. Leer y Carga un nuevo dataset

```
In [ ]: from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force\_remount=True).

```
In [3]: import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
#Leer Los datos

data = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/DataSet/Dial.csv')
d = (data['field1'], data['field2'], data['field3'], data['field4'])
Voltaje = np.array(data['field1'])
Corriente = np.array(data['field2'])
Potencia = np.array(data['field3'])
data_t = np.array([Voltaje, Corriente, Potencia]).T
FP = np.array(data['field4'])
```

## PASO 2. Cargar los modelos de Machine Learning

```
In [4]: import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn import linear_model
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
import pickle
from tensorflow.keras import models
#Modelo de Red Neurona
net_model = models.load_model("/content/drive/MyDrive/DataSet/CV_Test/best_model_fc")
net_model.summary()

#Modelo de Regresion Lineal Multiple
with open('/content/drive/MyDrive/DataSet/RegresionLineal/modelRegresionLineal.pkl') as f:
    l_model = pickle.load(f)

#Modelo de Random Forest
with open('/content/drive/MyDrive/DataSet/RandomForest/modelRandomForest.pkl', 'rb') as f:
    t_model = pickle.load(f)
```

Model: "sequential\_6"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_60 (Dense)	(None, 16)	64
dense_61 (Dense)	(None, 32)	544
dense_62 (Dense)	(None, 64)	2112
dense_63 (Dense)	(None, 64)	4160
dense_64 (Dense)	(None, 128)	8320
dense_65 (Dense)	(None, 64)	8256
dense_66 (Dense)	(None, 32)	2080
dense_67 (Dense)	(None, 16)	528
dense_68 (Dense)	(None, 8)	136
dense_69 (Dense)	(None, 1)	9

```

Total params: 26209 (102.38 KB)
Trainable params: 26209 (102.38 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)

```

### PASO 3. Evaluar los modelos

```

In [5]: from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from matplotlib.artist import Transform
from sklearn.model_selection import train_test_split
import matplotlib.pyplot as plt

x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(data_t, FP, shuffle=True, rand

poly = PolynomialFeatures(degree = 5)

y_pred_net = (net_model.predict(x_train))
y_pred_l = np.array(l_model.predict(poly.fit_transform(x_train)))
y_pred_t = np.array(t_model.predict(x_train))

# Predecir el Error
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.metrics import r2_score
net_error = mean_squared_error(y_train,y_pred_net, squared=False)
l_error = mean_squared_error(y_train,y_pred_l, squared=False)
t_error = mean_squared_error(y_train,y_pred_t, squared=False)
print(f'Error Cuadrado Medio NET: {net_error}')
print(f'Error Cuadrado Medio LINEAL: {l_error}')
print(f'Error Cuadrado Medio RTREE: {t_error}')

#Prediccion del Score
print(l_model.score(poly.transform(x_train), y_train))
print(t_model.score(x_train,y_train))

```

```
plt.plot(sorted(y_train), 'ob', label = 'Factor de Potencia')
plt.plot(sorted(y_pred_net), 'og', label = 'RedNeuronal', markersize=2)
plt.plot(sorted(y_pred_l), 'or', label = 'RegresionLineal', markersize=2)
plt.plot(sorted(y_pred_t), 'oc', label = 'RandomForest', markersize=2)
plt.grid()
plt.legend()
plt.show()
```

4/4 [=====] - 0s 3ms/step

Error Cuadrado Medio NET: 0.013758946480657987

Error Cuadrado Medio LINEAL: 0.008306207435833424

Error Cuadrado Medio RTREE: 0.004643197511991894

0.9942544068981434

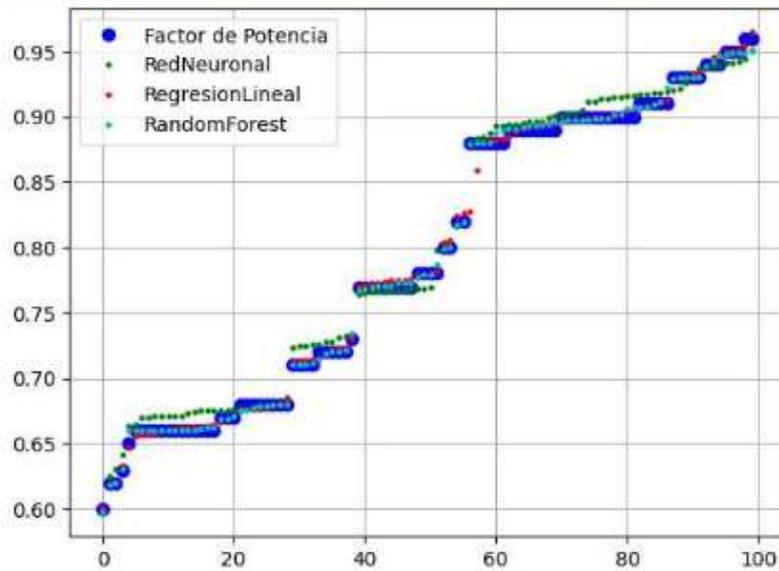
0.9982045900120446

/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/sklearn/base.py:439: UserWarning: X does not have valid feature names, but RandomForestRegressor was fitted with feature names

warnings.warn(

/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/sklearn/base.py:439: UserWarning: X does not have valid feature names, but RandomForestRegressor was fitted with feature names

warnings.warn(



#### PASO 4, Determinar los limites de predicción

```
In [6]: error_net = np.ones(len(y_train))
error_l = np.ones(len(y_train))
error_t = np.ones(len(y_train))

neet = y_pred_net[:,0]

error_net= np.sqrt((y_train-neet)**2)
error_l= np.sqrt((y_train-y_pred_l)**2)
error_t= np.sqrt((y_train-y_pred_t)**2)

fig, ax = plt.subplots(3,1, figsize=(6, 5))
```

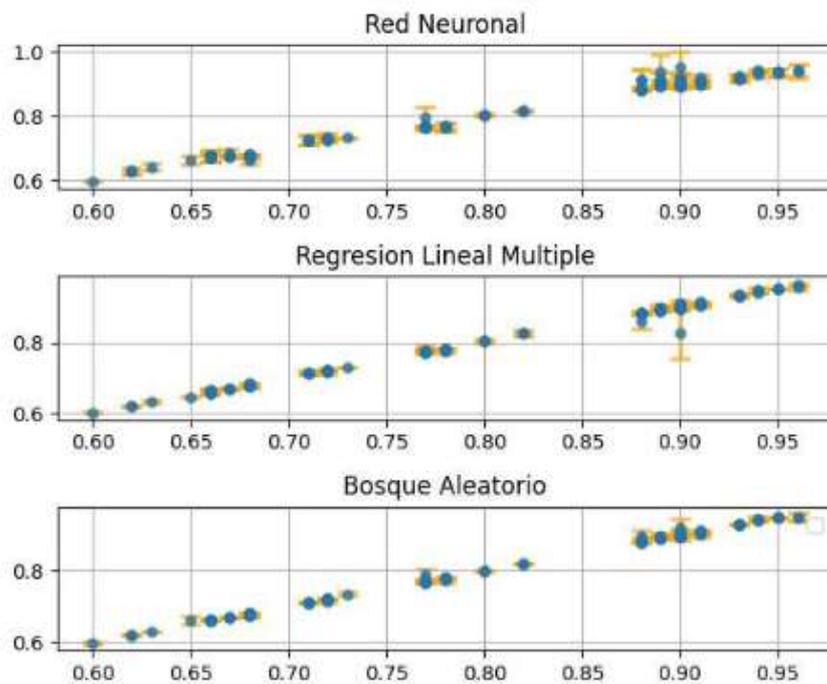
```

ax[0].errorbar((y_train),neet, yerr=error_net, fmt='o', capsiz=5, elinewidth=2,
ax[0].grid()
ax[0].set_title('Red Neuronal')
ax[1].errorbar((y_train),y_pred_l, yerr=error_l, fmt='o', capsiz=5, elinewidth=2,
ax[1].grid()
ax[1].set_title('Regresion Lineal Multiple')
ax[2].errorbar((y_train),y_pred_t, yerr=error_t, fmt='o', capsiz=5, elinewidth=2,
ax[2].grid()
ax[2].set_title('Bosque Aleatorio')
#ax.plot(y_train, y_pred_l, 'og', Label = 'Regresion',markersize=2)
#ax.plot(y_train, y_pred_t, 'oc', Label = 'Tree',markersize=2)
#ax.plot(y_train, neet, 'or', Label = 'RedNeuronal',markersize=2)

plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()

```

WARNING:matplotlib.legend.No artists with labels found to put in legend. Note that artists whose label start with an underscore are ignored when legend() is called with no argument.



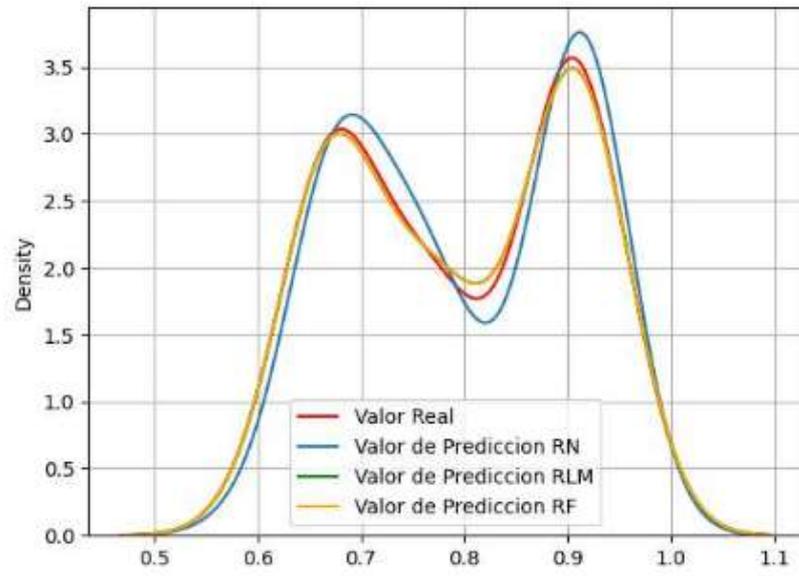
## PASO 5. Determinar el KDA

```

In [ ]: import seaborn as sns
ax = sns.kdeplot(y_train, color='r', label='Valor Real')
sns.kdeplot(y_pred_net, color='b', label='Valor de Prediccion RN', ax=ax)
sns.kdeplot(y_pred_l, color='g', label='Valor de Prediccion RLM', ax=ax)
sns.kdeplot(y_pred_t, color='orange', label='Valor de Prediccion RF', ax=ax)
plt.grid()
plt.legend()

```

Out [ ]: <matplotlib.legend.Legend at 8x7b19be8a05b0>



# Conexion con ThingSpeak

Nombre: Esdras Salomón Enríquez López

---

## PASO 1. Cargar los modelos de machine learning

```
In [ ]: from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force_remount=True).
```

```
In [ ]: import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn import linear_model
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
import pickle
from tensorflow.keras import models

net_model = models.load_model("/content/drive/MyDrive/DataSet/RedNeuronal/RedNeuronalModel/RedNeuronalModel.h5")

with open('/content/drive/MyDrive/DataSet/RegresionLineal/modelRegresionLineal.pkl', 'rb') as f:
    l_model = pickle.load(f)

with open('/content/drive/MyDrive/DataSet/RandomForest/modelRandomForest.pkl', 'rb') as f:
    t_model = pickle.load(f)
```

## PASO 2. Enviar los valores de prediccion

```
In [ ]: import requests
import urllib.request
import time
import json
import numpy as np

while True:
    url = "https://api.thingspeak.com/channels/2107143/feeds.json?api_key=3Q0XXMKH342"
    data = requests.get(url).json()
    index = data['feeds']
    V = []
    C = []
    P = []
    FP = []
    for x in index:
        V.append(x['field1'])
        C.append(x['field2'])
        P.append(x['field3'])
        FP.append(x['field4'])

    Voltaje = np.array(V, dtype=np.float64)
    Corriente = np.array(C, dtype=np.float64)
    Potencia = np.array(P, dtype=np.float64)
    FP = np.array(FP, dtype=np.float64)
```





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23/11/2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Esdras Salomón Enríquez López
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Informática y Electrónica
<b>Carrera:</b> Electrónica y Automatización
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Electrónica y Automatización
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Fernanda Arévalo M.

