

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA Y SU  
PLANIFICACIÓN A MEDIANO PLAZO APLICANDO EL  
MÉTODO DE SIMULACIÓN ESPACIO TEMPORAL EN LOS  
AMT, PERIODO 2023-2027**

**PRESENTADO POR:**

Br. DIDI NICOLAS AGUILAR PHOCO  
Br. JUAN CARLOS GAMARRA RODRIGUEZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO ELECTRICISTA.**

**ASESOR:**

Dr. EDGAR ZACARIAS ALARCON VALDIVIA

**CUSCO – PERÚ  
2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ..... Edgar Zacarias Alarcon Valdivia .....  
 ..... quien aplica el software de detección de similitud al  
 trabajo de investigación/tesistitulada: ..... Proyección de la demanda eléctrica .....  
 ..... y su planificación a mediano plazo aplicando el método .....  
 ..... de simulación espacio temporal en los ANT, periodo 2023-2027 .....

Presentado por: Didi Nicolas Aguilar Phoco ..... DNI N° 46002307 ..... ;  
 presentado por: Juan Carlos Gamarra Rodriguez ..... DNI N°: 47766555 .....  
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de ..... Ingeniero .....  
 ..... Electricista .....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ....2.... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....5.....%.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 06 de ..... Abril ..... de 2026.....

.....  
 Firma

Post firma Edgar Zacarias Alarcon Valdivia.....

Nro. de DNI 23821021.....

ORCID del Asesor 0000-0002-9168-7535.....

#### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:575399293.....

# JUAN-DIDI AGUILAR-GAMARRA

## PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA Y SU PLANIFICACIÓN A MEDIANO PLAZO APLICANDO EL MÉTOD...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:575399293

Fecha de entrega

6 abr 2026, 3:37 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

6 abr 2026, 3:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL AGUILAR - GAMARRA.pdf

Tamaño del archivo

1.8 MB

132 páginas

23.743 palabras

136.930 caracteres




# 5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

## Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Señores Docentes miembros del Jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica. En concordancia y cumplimiento con las disposiciones del Reglamento De Grados y Títulos Vigentes, con el objeto de optar al título profesional de Ingeniero Electricista, presento ante ustedes la tesis intitulada: “PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA Y SU PLANIFICACIÓN A MEDIANO PLAZO APLICANDO EL MÉTODO DE SIMULACIÓN ESPACIO TEMPORAL EN LOS AMT, PERIODO 2023-2027”, trabajo de investigación que permite ampliar los estudios sobre la aplicación de esta fuente energética, como alternativa de generación eléctrica no convencional para uso domiciliario.

Aguilar y Gamarra

## INTRODUCCIÓN

La proyección de la demanda eléctrica y su planificación eficiente son fundamentales para el desarrollo sostenible y la gestión óptima de los recursos energéticos. En el contexto de los Ámbitos Municipales Territoriales (AMT) Cusco Dolores 05, la planificación eléctrica a mediano plazo cobra especial relevancia debido al crecimiento poblacional, la urbanización acelerada, y las demandas energéticas cambiantes que caracterizan la región. Esta tesis se centra en la aplicación del método de simulación espacio-temporal, una técnica avanzada que permite prever la evolución de la demanda eléctrica considerando factores espaciales y temporales específicos del área de estudio. Al integrar datos geográficos, demográficos y de consumo energético, el método proporciona un marco robusto para el análisis de tendencias y patrones de demanda. El objetivo es establecer un modelo predictivo que facilite la toma de decisiones estratégicas para el periodo 2023-2027, asegurando que la infraestructura eléctrica se adapte de manera proactiva a las necesidades futuras. Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia energética y reducir costos, sino también contribuir al desarrollo económico y social del AMT Cusco Dolores 05, garantizando un suministro eléctrico confiable, sostenible y resiliente frente a los desafíos futuros. La implementación exitosa de esta planificación a mediano plazo sentará las bases para una gestión energética más inteligente y sostenible, alineada con las metas de desarrollo regional y las políticas energéticas nacionales.

## RESUMEN

Este estudio se centra en el alimentador Dolorespata 05 de la empresa Electro Sur Este S.A.A., ubicado en la ciudad del Cusco. El proyecto surge bajo la premisa de que la distribución eléctrica representa dos tercios de la inversión total del sistema, exigiendo una planificación constante para garantizar un suministro seguro, continuo y de alta calidad.

El objetivo principal es implementar un modelo de proyección de demanda eléctrica espacio-temporal estructurado en cuadrículas. Esta herramienta busca anticipar el crecimiento de cargas domésticas, comerciales e industriales a mediano y largo plazo, evitando escenarios críticos de sobrecarga o déficit energético mediante acciones preventivas y correctivas.

El modelo propuesto se articula en tres módulos fundamentales:

**Global:** Estima la cantidad total de nuevos clientes que se incorporarán en un periodo determinado.

**Espacial:** Identifica terrenos vacantes y evalúa su atractivo según el uso del suelo, proximidad y entorno. Genera un mapa de preferencias donde cada celda o cuadrícula posee una probabilidad de desarrollo.

**Temporal:** Calcula las curvas de carga específicas para cada tipo de usuario.

La relevancia de esta metodología radica en su capacidad de proyección espacial, permitiendo visualizar exactamente dónde y cuándo se desplazará la carga. Al integrar estas variables, la empresa puede optimizar sus inversiones en infraestructura, respondiendo de manera oportuna a la evolución urbana y a las necesidades energéticas de la zona de Dolorespata.

**PALABRAS CLAVE:** Distribución eléctrica, Demanda eléctrica, Proyección espacio temporal, Evolucion urbana.

## ABSTRACT

This study focuses on the Dolorespata 05 feeder of Electro Sur Este S.A.A., located in the city of Cusco. The project arises from the premise that electrical distribution represents two-thirds of the total system investment, requiring constant planning to guarantee a safe, continuous, and high-quality supply.

The main objective is to implement a grid-based spatial-temporal electrical demand projection model. This tool aims to anticipate the growth of residential, commercial, and industrial loads in the medium and long term, avoiding critical scenarios of overload or energy deficit through preventive and corrective actions.

The proposed model is structured around three fundamental modules:

**Global:** Estimates the total number of new customers that will be added in a given period.

**Spatial:** Identifies vacant land and evaluates its attractiveness based on land use, proximity, and surroundings. It generates a preference map where each cell or grid cell has a probability of development.

**Temporal:** Calculates the specific load curves for each type of user.

The relevance of this methodology lies in its spatial projection capabilities, allowing for the precise visualization of where and when the load will be moved. By integrating these variables, the company can optimize its infrastructure investments, responding effectively to urban development and the energy needs of the Dolorespata area.

**KEYWORDS:** Electrical distribution, Electrical demand, Spatiotemporal projection, urban evolution

## INDICE GENERAL

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO I:</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Generalidades</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ubicación Geográfica .....	1
1.2. Problemática .....	2
1.2.1. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Formulación del Problema.....	4
1.3.1. Problema General.....	4
1.3.2. Problemas Específicos .....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Justificación del Trabajo .....	5
1.6. Alcances y Limitaciones .....	6
1.6.1. Alcances.....	6
1.6.2. Limitaciones.....	6
1.7. Variables e Indicadores.....	7
1.7.1. Variable Independiente .....	7
1.7.2. Variable Dependiente.....	7
1.8. Hipótesis .....	7

1.8.1.	Hipótesis General.....	7
1.8.2.	Hipótesis Específica.....	7
1.9.	Metodología .....	8
1.10.	Población y Muestra .....	9
1.10.1.	Población.....	9
1.10.2.	Muestra .....	9
1.11.	Técnicas de Recolección de Datos.....	9
1.12.	Procesamiento de Datos .....	9
1.13.	Matriz De Consistencia.....	10
<b>CAPÍTULO II:.....</b>		<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>Marco Teórico y Normativo.....</b>	<b>11</b>
2.1.	Antecedentes del Estudio .....	11
2.1.1.	Investigaciones Nacionales .....	11
2.1.2.	Investigaciones Internacionales .....	15
2.2.	Marco Teórico.....	19
2.2.1.	Sistema de Distribución .....	19
2.2.2.	Red de Distribución de Energía Eléctrica .....	20
2.2.3.	Pronóstico de la Demanda Eléctrica .....	21
2.2.4.	Demanda Eléctrica .....	22
2.2.5.	Demanda Máxima.....	22
2.2.6.	Demanda Mínima.....	23
2.2.7.	Demanda Promedio.....	24
2.2.8.	Curva de la Demanda.....	24
2.2.9.	Demanda Promedio Anual.....	25
2.2.10.	Factor de Carga.....	25

2.2.11.	Tasa de Crecimiento de la Demanda .....	26
2.2.12.	Cuadrículas Geográficas .....	26
2.2.13.	Clases de Uso de Suelo .....	27
2.2.14.	Clasificación de los Métodos de Proyección .....	27
2.2.15.	Proyección de la Demanda Mediante Simulación del Uso del Suelo .....	31
2.3.	Marco Normativo.....	34
2.3.1.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM): .....	34
2.3.2.	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN):.....	35
2.3.3.	Otros Entes Reguladores:.....	35
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>36</b>
<b>3. Situación Actual del Alimentador Dolorespata 05.....</b>		<b>36</b>
3.1.	Descripción de la Subestación de Transformación Dolorespata.....	36
3.2.	Descripción del Alimentador DO-05 .....	39
3.3.	Tipos de Conductores Utilizados en el Alimentador DO-05 .....	41
3.3.1.	Conductores Tipo Subterráneos del Alimentador DO-05.....	41
3.3.2.	Conductores Tipo Aéreos del Alimentador DO-05 .....	41
3.4.	Clasificación de las Subestaciones de Distribución del Alimentador DO-05.....	42
3.4.1.	Según el Tipo de Instalación.....	42
3.4.2.	Según el Tipo de Servicio .....	43
3.4.3.	Según el Nivel de Tensión en el Secundario .....	43
3.5.	Clasificación del Consumo de Energía según el Pliego Tarifario .....	43
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>45</b>
<b>4. Pronóstico Espacial de la Demanda Mediante la Simulación Espacio Temporal</b>		<b>45</b>
4.1.	Distribución Geográfica de Carga .....	45

4.2.	Zonificación de uso de suelos .....	45
4.3.	Información Georreferenciada del Área de Estudio .....	48
4.4.	Zonificación Georreferenciada De Los Sectores De Alta Concentración De Carga 48	
4.5.	Densidad De Carga Por Espaciales.....	51
4.6.	Evolución del consumo del alimentador DO-05.....	53
4.7.	Proyección Espacial De La Demanda.....	53
4.8.	Escenarios de crecimiento.....	56
4.8.1.	Escenario Esperado .....	57
4.8.2.	Escenario Conservador .....	59
4.8.3.	Escenario Optimista .....	61
4.9.	Metodología para su Implementación en el lenguaje Python .....	63
4.9.1.	Procesamiento y Modelamiento de Datos.....	63
4.9.2.	Interfaz Gráfica y Visualización .....	63
4.9.3.	Persistencia y Operabilidad.....	67
4.9.4.	Modelos Econométricos Tradicionales.....	67
4.9.5.	Métodos de Extrapolación de Series de Tiempo.....	68
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>69</b>
<b>5. Comparación de Métodos para la Proyección.....</b>		<b>69</b>
5.1.	Proyección Haciendo Uso De Los Métodos De Tendencia Modelo ARIMA .....	69
5.2.	Aplicación de Modelos de Tendencia en Microsoft Excel .....	70
5.2.1.	Tendencia Lineal.....	73
5.2.2.	Tendencia Exponencial.....	75
5.2.3.	Tendencia Logarítmica .....	76
5.1.1.	Tendencia Polinómica.....	77

5.3.	Proyección Haciendo Uso De Modelos de Redes Neuronales .....	78
5.3.1.	Datos Utilizados.....	78
5.3.2.	Arquitectura del Modelo .....	78
5.3.3.	Entrenamiento y Validación .....	80
5.3.4.	Resultados del entrenamiento .....	81
5.3.5.	Discusión.....	82
5.4.	Análisis de los Resultados obtenidos .....	82
5.5.	Estrategias para la planificación de la infraestructura eléctrica a mediano plazo	85
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>88</b>
<b>SUGERENCIAS.....</b>		<b>89</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>93</b>

## Índice De Tablas

Tabla 1-1 <i>Crecimiento de la demanda 2019-2022</i> .....	2
Tabla 1-2 <i>Subestaciones asociadas al alimentador DO-05 en condición de sobrecarga</i> .....	3
Tabla 1-3 <i>Variable Independiente</i> .....	7
Tabla 1-4 <i>Variable Dependiente</i> .....	7
Tabla 3-1 <i>Datos Generales del Alimentador DO-05</i> .....	39
Tabla 3-2 <i>Listado de Subestaciones y sus características</i> .....	40
Tabla 4-1 <i>Clasificación espacial por uso de suelos</i> .....	46
Tabla 4-2 <i>Zonificación residencial</i> .....	47
Tabla 4-3 <i>Asignación de colores de acuerdo a la concentración de carga en KW</i> .....	49
Tabla 4-4 <i>Rango de densidades por zonas</i> .....	52
Tabla 4-5 <i>Evolución histórica máxima alimentado Dolorespata 05</i> .....	53
Tabla 4-6 <i>Proyección espacio temporal de la demanda para el alimentador Dolorespata 05</i> .....	54
Tabla 4-7 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario esperado</i> .....	58
Tabla 4-8 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario conservador</i> .....	60
Tabla 4-9 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario optimista</i> .....	61
Tabla 5-1 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Lineal</i> .....	74
Tabla 5-2 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Exponencial</i> .....	75
Tabla 5-3 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Logarítmica</i> .....	76
Tabla 5-4 <i>Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Polinómica</i> .....	77
Tabla 5-5 <i>Arquitectura del modelo de Red Neuronal</i> .....	79
Tabla 5-6 <i>Resultados del entrenamiento de la Red Neuronal</i> .....	81
Tabla 5-7 <i>Tabla resumen del análisis comparativo</i> .....	83

## Índice De Figuras

Figura 1-1 <i>Ubicación geográfica del sistema de distribución Dolorespata 05.</i> .....	1
Figura 2-1 <i>Sistema de Distribución y sus componentes.</i> .....	21
Figura 2-2 <i>Demanda máxima para un periodo de tiempo t.</i> .....	23
Figura 2-3 <i>Curva de carga diaria.</i> .....	25
Figura 2-4 <i>Clasificación de los métodos de proyección, según la estadística.</i> .....	28
Figura 2-5 <i>Modelos aplicados por el método de simulación espacio temporal.</i> .....	30
Figura 2-6 <i>Modelos de pronóstico según los métodos de simulación.</i> .....	32
Figura 3-1 <i>Diagrama Unifilar SET DOLORESPATA.</i> .....	37
Figura 3-2 <i>Alimentadores Else 24.04.2025.</i> .....	38
Figura 3-3 <i>Conductores Subterráneos utilizados en el Alimentador DO-05.</i> .....	41
Figura 3-4 <i>Conductores Áereos utilizados en el Alimentador DO-05.</i> .....	42
Figura 3-5 <i>Según el Tipo de Instalación.</i> .....	42
Figura 3-6 <i>Según el Tipo de Servicio.</i> .....	43
Figura 3-7 <i>Cantidad de usuarios por pliego tarifario.</i> .....	44
Figura 4-1 <i>Zonificación de alta concentración de carga para la ciudad del Cusco.</i> .....	50
Figura 4-2 <i>Zonificación de alta concentración de carga para el alimentador DO-05.</i> .....	51
Figura 4-3 <i>Densidad de carga para el alimentador Dolorespata 05.</i> .....	52
Figura 4-4 <i>Visualización de los datos y proyecciones</i> .....	64
Figura 4-5 <i>Visualización de la Evolución Temporal</i> .....	65
Figura 4-6 <i>Visualización de la Distribución Porcentual por Cuadrícula</i> .....	66
Figura 5-1 <i>Ejemplo de inserción de gráficos de dispersión en Microsoft Excel.</i> .....	71
Figura 5-2 <i>Selección de la opción “Agregar línea de tendencia” sobre la serie de datos en Excel.</i> .....	71
Figura 5-3 <i>Opciones de líneas de tendencia disponibles en Microsoft Excel.</i> .....	72

Figura 5-4 <i>Panel de configuración de la línea de tendencia en Excel.</i> .....	73
Figura 5-5 <i>Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Lineal.</i> .....	74
Figura 5-6 <i>Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Exponencial.</i> .....	75
Figura 5-7 <i>Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Logarítmica.</i> .....	76
Figura 5-8 <i>Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Polinómica</i> .....	77
Figura 5-9 <i>Gráfica comparativa con los métodos de tendencia.</i> .....	83

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

MT	: Media Tensión
BT	: Baja Tensión
SED	: Subestación de Distribución
QU	: Alimentador de la Subestación de Transformación Quencoro
DO	: Alimentador de la Subestación de Transformación Dolorespata
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna de Retorno
CNE	: Código Nacional de Electricidad
NTCSE	: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
SET	: Subestación Transformadora
ELSE	: Electro Sur Este S.A.A.
kV	: Kilo Voltios
kW	: Kilo Watt
kW-h	: Kilo Watt-hora
kVA	: Kilo volt Amperios
MVA	: Mega volt Amperios
kVA	: Subestación Transformadora
ONAN	: Oil Natural Air Natural- Aceite y aire no forzados
ONAF	: Oil Natural Air Natural- Aceite no forzado y aire forzados
PYME	: Pequeña y mediana empresa
ARIMA	: Autorregresivo Integrado de Media Móvil

## CAPÍTULO I:

### 1. Generalidades

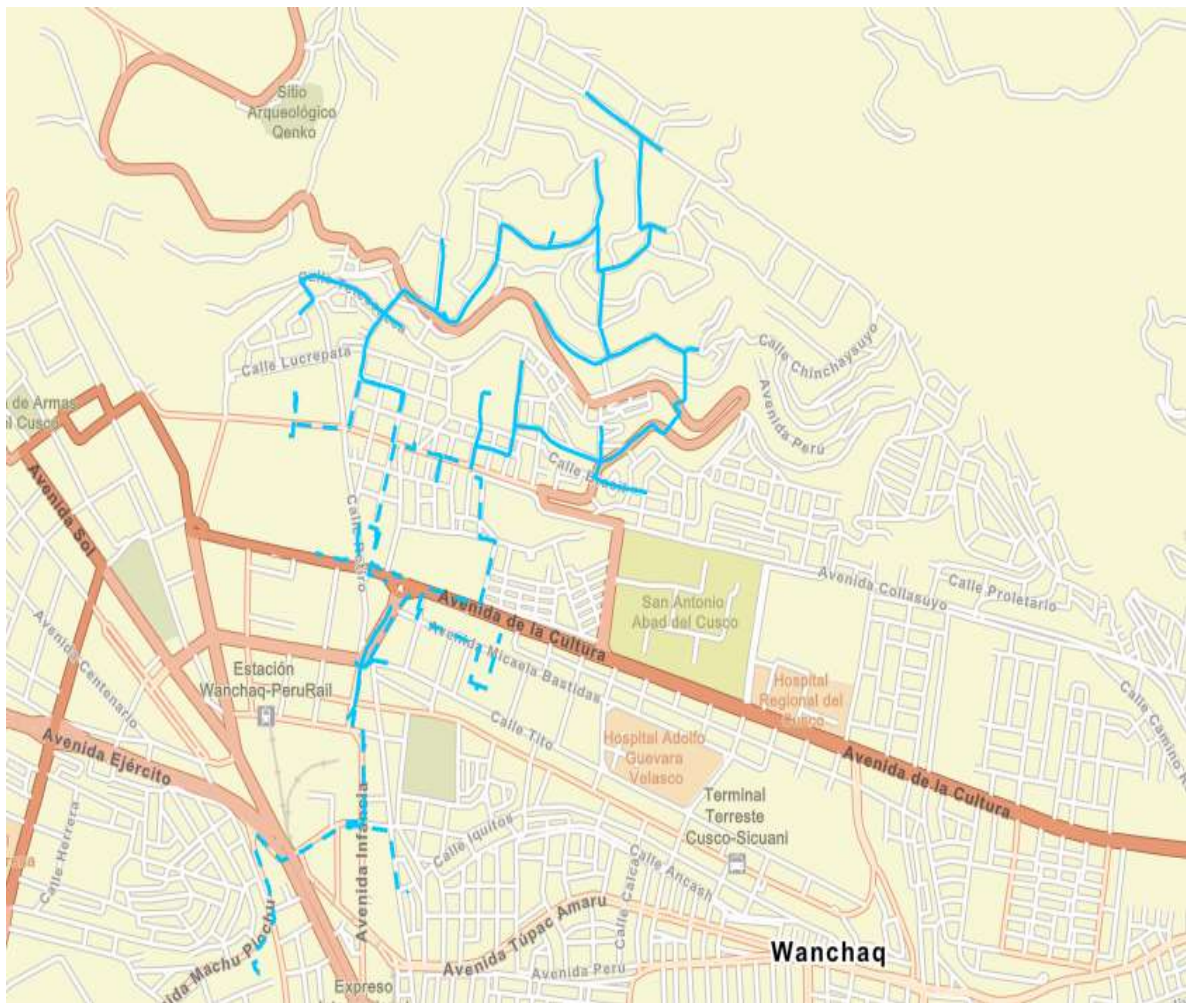
#### 1.1. Ubicación Geográfica

El estudio se desarrollará en el alimentador Dolorespata 05, sector típico II, de la empresa concesionaria Electro Sur Este.

El trayecto de este alimentador, se encuentra ubicado en parte de los distritos de Cusco y Wanchaq de la provincia y departamento de Cusco, tal como se puede apreciar en la figura siguiente.

**Figura 1-1**

*Ubicación geográfica del sistema de distribución Dolorespata 05.*



*Fuente. Portal Arcgis Electro Sur Este. Año 2023.*

## 1.2. Problemática

### 1.2.1. Planteamiento del problema

La empresa Electro Sur Este tiene como objetivo garantizar un suministro eléctrico confiable, seguro y de calidad, atendiendo una demanda en constante crecimiento debido a la incorporación de nuevas cargas domésticas, comerciales e industriales. Entre 2019 y 2022, la demanda máxima registrada pasó de 112.94 MW a 139.26 MW (un incremento del 23.3%), con un pico histórico en septiembre de 2022.

**Tabla 1-1**

*Crecimiento de la demanda 2019-2022*

MW	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2019	112.94	111.17	122.86	120.32	125.76	119.37	125.33	127.83	133.15	133.87	123.44	120.87
2020	118.49	114.44	115.67	97.98	103.11	106.17	112.13	118	115.74	121.03	111.69	123.12
2021	117.65	110.5	106.17	119.91	120.43	109.9	126.54	102.5	128.64	129.8	125.03	123.49
2022	111.55	122.19	122.71	129.33	129.79	129.01	134.04	128.28	139.26	133.05	128.87	135.18

*Fuente. Memoria Anual 2022. Electro Sur Este S.A.A.*

Este incremento de la demanda se traduce en un aumento significativo de la carga en los alimentadores y subestaciones del sistema de distribución, especialmente en sectores urbanos de rápido crecimiento. En este contexto, se identifican casos críticos como el alimentador DO-05, cuyas subestaciones asociadas están operando por encima de su capacidad nominal, lo que compromete seriamente su integridad técnica y la continuidad del servicio eléctrico.

**Tabla 1-2**

*Subestaciones asociadas al alimentador DO-05 en condición de sobrecarga*

<b>Subestación</b>	<b>Capacidad Nominal (MVA)</b>	<b>Carga Actual (MVA)</b>	<b>% de Sobrecarga</b>
10533	100	102.3	102.30%
10490	50	53.235	106.47%
10426	100	101.56	101.56%

*Fuente. Área de planeamiento de Electro Sur Este S.A.A.*

Esta situación evidencia una saturación operativa del sistema que podría agravarse si no se adoptan medidas adecuadas de planificación.

Actualmente, las proyecciones de demanda eléctrica se realizan mediante modelos de regresión tradicionales, los cuales presentan limitaciones significativas al basarse únicamente en tendencias históricas, sin considerar variables críticas como la ubicación geográfica, la estacionalidad o los cambios en el comportamiento del consumo eléctrico.

Esta falta de integración de variables clave reduce la precisión de los pronósticos y puede conducir a una subestimación de la demanda futura, lo que afecta directamente la planificación de inversiones en infraestructura eléctrica. El sistema ideal debería superar estas limitaciones incorporando variables espaciales y temporales a través de un modelo de simulación espacio-temporal. Este enfoque permitiría identificar patrones de consumo vinculados a la ubicación geográfica. Además, optimizaría la planificación de recursos, anticipando necesidades de ampliación de redes, modernización de subestaciones y distribución eficiente de energía. El objetivo final es garantizar un sistema eléctrico confiable y sostenible, evitando sobrecargas o fallos causados por una demanda no prevista.

Si no se mejora la metodología de proyección actual, las consecuencias podrían ser graves. Una sobrecarga de la red provocaría fallos en transformadores y líneas de distribución debido a una demanda no anticipada. Además, se generarían inversiones ineficientes, con

costos elevados por obras urgentes o infraestructura mal dimensionada. También existiría un riesgo de desabastecimiento, con interrupciones en el servicio que afectarían a usuarios y sectores productivos. Finalmente, se produciría un atraso tecnológico, perdiendo competitividad frente a sistemas que ya utilizan modelos predictivos avanzados.

Como solución, esta investigación propone implementar un modelo de simulación espacio-temporal para proyectar la demanda eléctrica hasta el 2027 con mayor precisión, integrando datos georreferenciados y series temporales. Este modelo permitirá identificar zonas críticas de crecimiento acelerado y priorizar inversiones de manera estratégica. Además, se validará comparando sus resultados con los métodos tradicionales, demostrando su mejora en escenarios reales y contribuyendo a una planificación energética más eficiente y confiable.

### ***1.3. Formulación del Problema***

En ese sentido, se plantean las siguientes preguntas:

#### **1.3.1. Problema General**

¿Cómo la aplicación de un modelo de simulación espacio-temporal puede optimizar la planificación de infraestructura eléctrica para el AMT Dolorespata 05 durante el periodo 2023-2027?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

1. ¿Cómo realizar el diagnóstico de las instalaciones del AMT Dolorespata 05 para conocer la demanda de los clientes?
2. ¿Cómo realizar el pronóstico espacial de la demanda eléctrica haciendo uso de la base de datos GIS?
3. ¿Cómo se puede comparar esta técnica con otras metodologías para determinar su fiabilidad relativa?

## ***1.4. Objetivos***

### **1.4.1. Objetivo General**

Aplicar un modelo de simulación espacio-temporal para optimizar la planificación de infraestructura eléctrica en el AMT Dolorespata 05 durante el periodo 2023-2027.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar el diagnóstico actual de las instalaciones del AMT Dolorespata 05 para conocer la demanda existente en el alimentador.
2. Pronosticar espacialmente la demanda eléctrica mediante un modelo de simulación espacio temporal con el apoyo de la base de datos GIS de Electro Sur Este.
3. Realizar la comparación con otros métodos para determinar su fiabilidad.

## ***1.5. Justificación del Trabajo***

Pronosticar la demanda eléctrica constituye un fin primordial en la planificación del sistema de distribución, ya que permite direccionar los recursos de manera eficiente y estratégicamente con la finalidad de satisfacer la demanda creciente.

Conocer la ubicación y consumo de nuevos suministros es importante para determinar si el sistema de distribución cumple con las condiciones de funcionamiento, caso contrario si no se satisface esta demanda para horizontes futuros, el sistema queda sobrecargado, generando pérdidas, discontinuidad del servicio y fallas en las instalaciones.

Actualmente Electro Sur Este dispone de una base de datos geo-localizada llamada GIS (Sistema de información georreferenciada) donde recopila y gestiona la información de las redes eléctricas contempladas dentro de su área de concesión. Con el apoyo de esta información geográfica se pretende aplicar el método de simulación espacio temporal para pronosticar la demanda eléctrica en los periodos 2023 al 2027 para el alimentador Dolorespata 05. Y así conociendo la demanda futura tomar decisiones anticipadas para evitar la sobrecarga en el AMT 05.

Los aportes del estudio serán:

- **Social.** – Con la correcta planificación de la demanda de energía se garantiza el suministro de electricidad. Mejorando la calidad de los ciudadanos contemplados en área de estudio, traducidos en los siguientes rubros: Educación, salud, vivienda, industria y PYME.
- **Económico.** – Mayor beneficio económico para la empresa concesionaria, debido a que habrá posibilidad de incrementar nuevos usuarios.
- **Práctica.** - El correcto pronóstico de la demanda permitirá conocer si las instalaciones actuales están preparadas para una mayor cobertura del servicio eléctrico y la ampliación de la frontera eléctrica.

**Académico.** – La investigación tiene una relevancia académica, debido a que permitirá a los estudiantes y docentes ampliar sus conocimientos y la importancia de realizar el pronóstico de la demanda para cargas futuras.

## ***1.6. Alcances y Limitaciones***

### **1.6.1. Alcances**

El trabajo de tesis solo abarcará:

- El análisis de la demanda comprendida en las subestaciones de distribución del alimentador Dolorespata 05.
- Realizar la proyección espacial para los años comprendidos entre el 2023 y 2027.

No se contempla el análisis de armónicos ni indicadores de calidad SAIDI y SAFI.

### **1.6.2. Limitaciones**

La precisión de la proyección depende de la calidad y cantidad de los datos disponibles.

La falta de datos históricos detallados o actualizados sobre el consumo eléctrico en el área puede limitar la exactitud del modelo. La validez del modelo se basa en ciertas suposiciones.

## 1.7. Variables e Indicadores

### 1.7.1. Variable Independiente

**Tabla 1-3**

*Variable Independiente*

<b>Variable Independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Crecimiento de la demanda	Demanda eléctrica	Consumo de energía	Kilowatt - hora

*Fuente. Elaboración propia.*

### 1.7.2. Variable Dependiente

**Tabla 1-4**

*Variable Dependiente*

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Método de simulación espacio temporal	Parámetros geográficos de la zona	Diagrama de la Red	-

*Fuente. Elaboración propia.*

## 1.8. Hipótesis

### 1.8.1. Hipótesis General

Con la aplicación de un modelo de simulación espacio-temporal se mejorará significativamente la precisión de las proyecciones de demanda eléctrica en el AMT Dolorespata 05 para el periodo 2023-2027.

### 1.8.2. Hipótesis Específica.

- a) Con el diagnóstico de las instalaciones del AMT Dolorespata se podrá conocer la demanda que existe en este.

- b) Mediante el modelo de simulación espacio temporal se podrá realizar el pronóstico de la demanda utilizando información de la base de datos GIS.
- c) Se espera que el método de simulación espacio-temporal demuestre una mayor fiabilidad en el análisis de datos geoespaciales en comparación con otras técnicas tradicionales, debido a su capacidad para capturar variaciones temporales y espaciales.

### ***1.9. Metodología***

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección, procesamiento y análisis de datos estadísticos obtenidos del área de estudio, específicamente relacionados con el crecimiento de la demanda eléctrica en el alimentador Dolorespata 05.

En cuanto al nivel de investigación, se trata de un estudio de nivel explicativo, puesto que no solo describe el comportamiento de la demanda, sino que también busca explicar sus causas y proponer una solución mediante un modelo predictivo.

Respecto al tipo de investigación, esta se clasifica como científica-tecnológica, ya que implica una búsqueda planificada y sistemática de conocimiento dentro del campo de la ingeniería eléctrica. Además, es una investigación aplicada, porque emplea fundamentos teóricos y modelos matemáticos con el fin de resolver un problema concreto de la realidad operativa del sistema eléctrico.

Finalmente, la técnica metodológica utilizada es la simulación espacio-temporal, la cual permite modelar el comportamiento dinámico de la demanda eléctrica considerando tanto la dimensión geográfica como temporal. Este método posibilita realizar proyecciones más precisas, superando las limitaciones de los modelos tradicionales de regresión lineal, y contribuyendo a una mejor planificación energética a futuro.

## ***1.10. Población y Muestra***

### **1.10.1. Población**

La población de estudio está conformada por los nueve alimentadores eléctricos que operan en la ciudad del Cusco, los cuales forman parte del sistema de distribución administrado por Electro Sur Este.

### **1.10.2. Muestra**

La muestra seleccionada corresponde al alimentador Dolorespata 05, elegida mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que presenta condiciones representativas del crecimiento de la demanda eléctrica y evidencia técnica de sobrecarga en subestaciones asociadas.

## ***1.11. Técnicas de Recolección de Datos***

La técnica de recolección de datos involucra:

- Análisis del consumo de energía del alimentador Dolorespata 05.
- Registro de la demanda de la zona de estudio.
- Base de datos de los suministros de ELSE.
- Base de datos del sistema de información geográfica GIS de ELSE..

## ***1.12. Procesamiento de Datos***

- Clasificación y evaluación de la información obtenida.
- Procesamiento de datos secundarios.
- Análisis de los resultados.

### 1.13. Matriz De Consistencia

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>			
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>
¿Cómo la aplicación de un modelo de simulación espacio-temporal puede optimizar la planificación de infraestructura eléctrica para el AMT Dolorespata 05 durante el periodo 2023-2027?	Aplicar un modelo de simulación espacio-temporal para optimizar la planificación de infraestructura eléctrica en el AMT Dolorespata 05 durante el periodo 2023-2027.	Con la aplicación de un modelo de simulación espacio-temporal se mejorará significativamente la precisión de las proyecciones de demanda eléctrica en el AMT Dolorespata 05 para el periodo 2023-2027.	Crecimiento de la demanda Eléctrica
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>
a) ¿Cómo realizar el diagnóstico de las instalaciones del AMT Dolorespata 05 para conocer la demanda de los clientes? b) ¿Cómo realizar el pronóstico espacial de la demanda eléctrica haciendo uso de la base de datos GIS? c) ¿Cómo se puede comparar esta técnica con otras metodologías para determinar su fiabilidad relativa?	a) Realizar el diagnóstico actual de las instalaciones del AMT Dolorespata 05 para conocer la demanda existente en el alimentador. b) Pronosticar espacialmente la demanda eléctrica mediante un modelo de simulación espacio temporal con el apoyo de la base de datos GIS de Electro Sur Este. c) Realizar la comparación con otros métodos para determinar su fiabilidad.	a) Con el diagnóstico de las instalaciones del AMT Dolorespata se podrá conocer la demanda que existe en este. b) Mediante el modelo de simulación espacio temporal se podrá realizar el pronóstico de la demanda utilizando información de la base de datos GIS. c) Se espera que el método de simulación espacio-temporal demuestre una mayor fiabilidad en el análisis de datos geoespaciales en comparación con otras técnicas tradicionales, debido a su capacidad para capturar variaciones temporales y espaciales.	Método de simulación espacio temporal

## CAPÍTULO II:

### 2. Marco Teórico y Normativo

#### 2.1. Antecedentes del Estudio

Para el presente trabajo se toma en consideración los siguientes antecedentes:

##### 2.1.1. Investigaciones Nacionales

- Autor: Deniz Gonzalo Miranda Choquehuanca, título “PLANIFICACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA EN SU INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE VIDA EN LAS ZONAS RURALES DEL SUR DEL PERÚ EN EL PERIODO 2017 – 2022”. Tesis de grado en Maestro en Ciencias, Arequipa - Perú - 2021. Que tiene como objetivo general: “Explicar y analizar la demanda de electricidad en su calidad de vida de la población rural de chiguata, puesto que así se asegura el futuro con el abastecimiento de energía de la zona rural y aumento de la calidad de vida” (Miranda Choquehuanca, 2021).

Metodología:

“Aplicando la metodología cuantitativa se ha utilizado el método deductivo, utilizando instrumentos analíticos, estadísticos, así como indicadores en los cuales pueden verse gráficos y tablas, cuadros y programas como, por ejemplo, la evolución de la capacidad instalada de generación del Perú ver A 2015, la generación de electricidad a nivel mundial fue 23 950 TWh. El continente que tuvo la mayor participación fue Asia con 47%, seguido de Norteamérica con 22%, Europa con 21% y Centro y Sudamérica con 6%” (Miranda Choquehuanca, 2021).

Y se concluye lo siguiente:

“De acuerdo a la información estadística podemos Concluir que, al analizar los datos mostrados en los gráficos, tablas y cuadros donde obtenemos gran cantidad de información e interesantes revelaciones; la energía eléctrica influye en la calidad de vida de las familias y fundamentalmente de aquella población de las zonas rurales del sur del Perú” (Miranda Choquehuanca, 2021).

- Autor: Mauro Huacho Aranda, título: “EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE AYACUCHO CON SU ACTUAL CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN CON EL SEIN”, Huancayo - Perú - 2018.

Que tiene como objetivo general:

“Determinar si en los próximos 30 años el Sistema Eléctrico de Ayacucho requerirá una mayor capacidad de transmisión para abastecer su demanda de potencia eléctrica” (Huacho Aranda, 2018).

Metodología:

“Por su finalidad es una investigación aplicada debido a que buscará resolver el problema general que es conocer si en los próximos 30 años el Sistema Eléctrico de Ayacucho requerirá de una mayor capacidad de transmisión Eléctrica. Con un nivel de investigación descriptivo, ya que describirá el fenómeno del incremento de la demanda de energía eléctrica en los próximos 30 años del sistema eléctrico de Ayacucho para determinar si éste requerirá de una mayor Capacidad de Transmisión Eléctrica que la actual” (Huacho Aranda, 2018).

Y se concluye lo siguiente:

“Utilizando los datos históricos de las ventas de energía (2007-2017), se ha realizado el análisis de regresión de los datos de venta global de energía en Media y Baja Tensión, aplicando para ello distintas curvas; para luego seleccionar aquellas que ofrezcan la mejor bondad de ajuste, de acuerdo con el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  y con criterios del tesista mediante el uso de los métodos matemáticos econométrico y tendencial” (Huacho Aranda, 2018).

“Las líneas de Transmisión Eléctrica Friaspata - Mollepata en 220KV y Cobriza I y Cobriza II, que son las interconexiones entre el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y el Sistema Eléctrico de Ayacucho solo abastecerán de forma eficiente y segura la demanda de potencia de Ayacucho hasta mediados del año 2041” (Huacho Aranda, 2018).

- Autor: José Alonso Vilcabana Zamora, título: “METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA DE USUARIO REGULADO PARA OPTIMIZAR LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA. CASO DE ESTUDIO: EMPRESA ‘SAN ROQUE’ DE LA CIUDAD DE LAMBAYEQUE”, Piura – Perú, año 2023.

Que tiene como objetivo general:

“Tener un itinerario de funcionamiento correcto, donde las maquinas trabajen en HP, HFP o ambas, en correlación con el horario de labores de la empresa (horario de los trabajadores y personal), permite no generar inconvenientes al elaborar la gestión de demanda, ejemplo de lo mencionado es mover una carga de un determinado horario a otro, si en

este no hay disponibilidad de personal en la fábrica” (Vilcabana Zamora, 2023).

Metodología:

“Se desarrolla detalladamente la metodología de gestión de demanda eléctrica, el cual incluirá la recopilación de datos y el desarrollo del plan de gestión, teniendo como resultado una sólida metódica que cumpla con el fin propuesto. ” (Vilcabana Zamora, 2023).

Y se concluye lo siguiente:

“La metodología de gestión de demanda eléctrica establecida en el presente trabajo, contó con la reducción tanto de la demanda de potencia como de energía, lo que hizo que cumpliera con disminuir los costos de facturación de un usuario regulado, lo cual es demostrado con la empresa industrial “San Roque”, con el que se produjo un ahorro aproximado de S/. 20000 anuales, por lo tanto, se define que la metódica de reducción de demanda eléctrica realizada puede ser aplicable tanto para usuarios de tipo industrial como residencial” (Vilcabana Zamora, 2023).

“Los usuarios eléctricos que deseen realizar una metodología de gestión de demanda eléctrica con el fin de reducir sus consumos, deben contar con altas capacidades de aceptación a las modificaciones realizadas por los mismo programas, puesto que en muchos planes de gestión se modifican los hábitos de consumo del usuario o se sugiere la eliminación de cargas o equipos innecesarios presentes en las instalaciones del cliente, ello afecta en la forma de vivir del usuario eléctrico o en los niveles de producción ” (Vilcabana Zamora, 2023).

### 2.1.2. Investigaciones Internacionales

- Autores: Jaime Alfredo Zamora Machuca y Fernando Patricio Piedra Lazo, título: “PROYECCIÓN ESPACIAL DE LA DEMANDA ELECTRICA DEL CANTO CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY PERTENECIENTE A LA CENTRO SUR C.A. MEDIANTE LA AYUDA DE LA HERRAMIENTA CYMSIDT”, Guayaquil – Ecuador, año 2013.

Que tiene como objetivo general:

“Establecer la proyección espacial de la demanda, para determinar la distribución de la densidad de demanda dentro del área de concesión de CENTROSUR, y proyectar mejoras en el sistema eléctrico de medio y bajo voltaje” (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

Metodología:

“El método de proyección basado en el uso del suelo utiliza los resultados del módulo global. El módulo de proyección global determina el número total de clientes que se espera tener en el futuro en toda el área de concesión y siguiendo la metodología a través de una técnica de asignación se distribuye los nuevos clientes en la región” (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

Y se concluye lo siguiente:

“El trabajo permitió realizar una proyección de la demanda en Canto Cuenca de manera más detallada mediante el análisis por micro áreas de un kilómetro de lado, en donde los factores de análisis son de crecimiento poblacional por área y crecimiento de la demanda por área,

permitieron proyectar hacia 20 años con una tasa de crecimiento individual por área” (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

“El método presentado tiene suficiente flexibilidad para ser aplicable a diversos sistemas eléctricos de distribución, o al sistema eléctrico nacional siempre dependiendo de la calidad de la información y herramientas disponibles, incluso puede ser aplicable a otras áreas de estudio como por ejemplo en los planes de desarrollo urbano y rural realizado por los GADs Municipales” (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

“Las desventajas encontradas corresponden al tiempo y costo computacional requerido para el análisis, los mismos que dependen de la precisión y nivel de detalle con el que se quiere trabajar. Como por ejemplo la resolución de trabajo, la cantidad de datos, etc. siendo necesario para ello emplear gran cantidad de recursos y esfuerzos (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

- Autores: Derian Olmedo Santillán Briones y Fernando Ismael Pallo Massuh, título: “ESTUDIO DE LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE CNEL EP - UNIDAD DE NEGOCIO LOS RÍOS EN EL PERIODO COMPRENDIDO DEL 2019 AL 2024” Guayaquil – Ecuador, año 2019.

Que tiene como objetivo general:

“A través del estudio cronológico de la demanda eléctrica, determinar la proyección de la misma y el impacto que podría causar su crecimiento o variación en el Sistema Eléctrico de Potencia de CNEL Los Ríos para el período 2019-2024” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

Metodología:

“Se desarrolló bajo un enfoque de investigación del tipo positivista y cuantitativa. Se parte de la necesidad de caracterizar un fenómeno con base a hechos y mediciones registradas durante los años 2000 al 2017” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

“Se trata de una investigación de campo, pues la información se obtiene directamente de las unidades de investigación, de tipo cuantitativa porque se toman mediciones de variables en escala de intervalo como lo son el consumo de energía y la demanda. Es analítica, debido a que se realiza estudios cuantitativos por subestaciones eléctricas de las referidas variables, empleando métodos alternos cuantitativos estadísticos en el análisis de la energía y demanda que se requerirá” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

Y se concluye lo siguiente:

“De acuerdo a las proyecciones realizadas, el modelo logístico o de Curva Tipo S, resultó el más idóneo al ajuste de la proyección de demanda y energía, al presentar los mejores valores en los indicadores de precisión, obteniendo un Error Porcentual Absoluto Medio de 1 % en la proyección de energía y 2,51 % en la proyección de demanda; a su vez presentó un crecimiento relativo porcentual similar al que se obtuvo en el PME 2016 – 2025” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

“El uso del modelo de regresión múltiple manifestó una bondad de ajuste de 97,16 % en la proyección de la energía y 94,39 % en la proyección de la demanda” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

“De acuerdo a los resultados observados, y a las proyecciones realizadas hasta el 2024, el sistema eléctrico de potencia de CNEL los Ríos, no está

dimensionado para soportar el incremento de carga que se producirá en este periodo” (Santillán Briones y Pallo Massuh, 2019).

- Autor: John William Grimaldo Guerrero, título: “MODELO DE PREDICCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA POR REGRESIONES MÚLTIPLES”, Barranquilla – Atlántico – Ecuador, año 2012.

Que tiene como objetivo general:

“Diseñar un modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica a largo plazo” (Grimaldo Guerrero, 2012).

Metodología:

“Se recolecta la información acerca de avances teóricos y técnicos, relacionados con los modelos de predicción. Para el desarrollo satisfactorio de esta fase se consultarán referencias bibliográficas, revistas, artículos, bases de datos, etc.” (Grimaldo Guerrero, 2012).

Y se concluye lo siguiente:

“Los modelos se generaron con valores que van del año 2000 al 2009 y a su vez validaron, primero con el coeficiente de Mallows, segundo con los estadísticos de regresión y por último con el pronóstico de los valores de los años 2010 y 2011. Se mostró la falencia que se está produciendo al usar un modelo con la variable PIB global, puede ser no muy notorio pero que poco a poco podría convertirse en un gran problema para los diseños en los planes de expansión del parque generador” (Grimaldo Guerrero, 2012).

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Sistema de Distribución**

“Un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y fiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares. Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de fiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en: Industriales, Comerciales, Urbanos, y Rurales.

Los sistemas de distribución industrial comprenden a los grandes consumidores de energía eléctrica, que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diésel. Los sistemas de distribución comerciales son un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales. Este tipo de sistemas tiene sus propias características como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia.

Los sistemas de distribución urbanos alimentan la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección de los equipos y su correcto dimensionamiento.

Los sistemas de distribución rural se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el coste del KWh consumido. En algunos casos es incluso justificado, desde el punto de vista económico, la generación local en una fase inicial, y sólo en una fase posterior,

puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande” (Méndez Treviño, 2016).

### **2.2.2. Red de Distribución de Energía Eléctrica**

“La red de distribución de la energía eléctrica es una parte del sistema de suministro eléctrico que es responsabilidad de las compañías distribuidoras de electricidad. La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

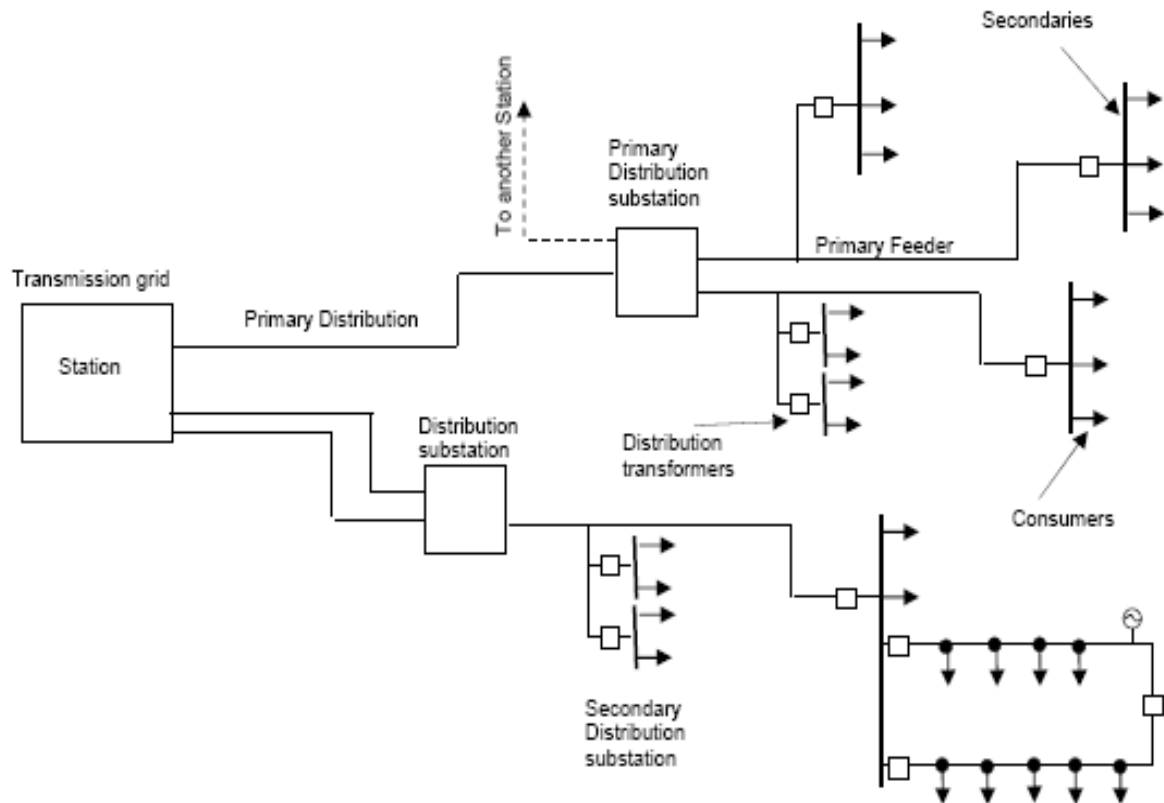
La primera está constituida por la antiguamente denominada red de reparto que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 KV y 132 kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, comúnmente denominada red de media tensión, con tensiones de funcionamiento de 3 KV a 30 kV y mallada. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del 2 suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros son de baja tensión (230/400 V). En la siguiente se muestra un sistema de distribución típico.

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red” (Méndez Treviño, 2016).

**Figura 2-1**

*Sistema de Distribución y sus componentes.*



*Fuente. Méndez Triveño, 2016.*

### **2.2.3. Pronóstico de la Demanda Eléctrica**

“En la planeación de un sistema de distribución los aspectos más importantes que se debe considerar es el crecimiento de la carga de dicho sistema; no es común que se pueda diseñar la planeación sobre la base de las cargas reales actuales, para mayor efectividad del resultado de la planeación se debe considerar una tasa de crecimiento de carga, esto se hace para prevenir futuras modificaciones.

El crecimiento de carga se debe a varios factores como: nuevos lotes o zonas que se anexan al sistema, nuevos consumidores que se encuentran en la zona del sistema o aumentos de carga de los consumidores actuales. Estos factores son aplicables a diferentes

partes del sistema y en distintos grados, por lo que no es aconsejable una estimación generalizada de crecimiento de carga para todos los casos.

Para el crecimiento de carga influyen condiciones locales, por ejemplo: condiciones económicas de la zona, hábitos de los consumidores, condiciones económicas reales de la empresa suministradora, etc. Los crecimientos en las diversas partes del sistema en general serán muy diferentes entre sí, existirán distinciones entre las tasas de crecimiento de cada una de las zonas en particular, respecto a la tasa del sistema de distribución. Es conveniente tomar en cuenta que solamente un estudio riguroso y continuo de los diferentes factores, que afectan al crecimiento de cargas en todas las zonas del sistema en análisis, dará datos básicos adecuados, con los cuales se podrá estimar con propiedad el futuro crecimiento de la carga. A pesar de lo anterior, es realmente imposible llegar a una solución con un alto grado de exactitud” (Zamora Machuca y Piedra Lazo, 2013).

#### **2.2.4. Demanda Eléctrica**

“Es la cantidad de potencia que un cliente utiliza en cualquier momento y es variable en el tiempo. La demanda de una instalación eléctrica en los terminales receptores, es tomada como un valor medio en un intervalo de tiempo determinado. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, etc.

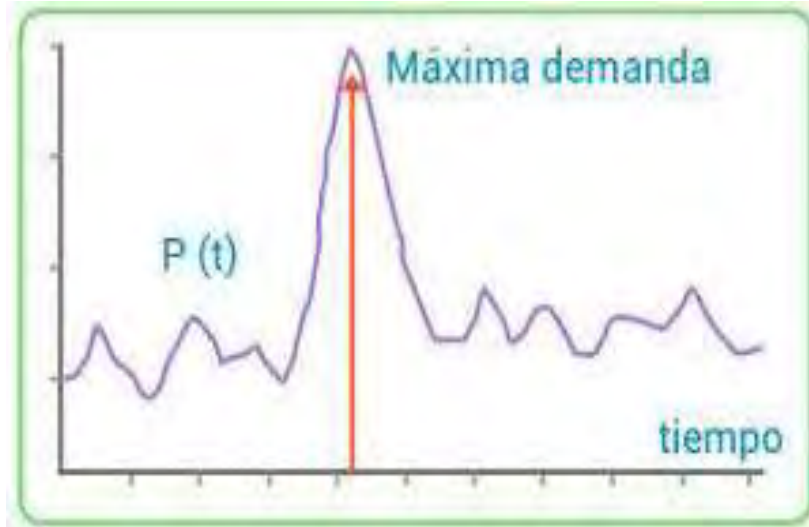
La variación de la demanda en el tiempo para una carga dada origina una curva de carga (Demanda vs tiempo)” (Ariza Ramírez, 2013).

#### **2.2.5. Demanda Máxima**

“Corresponde al mayor valor de la carga que se presenta en un sistema durante un período de tiempo previamente establecido. Esta carga es de mayor interés porque aquí es donde se presenta la máxima caída de tensión del sistema, traduciéndose en mayores pérdidas de energía (kWh) y potencia (kW, kVAR)” (Salgado Rodriguez, 2015).

## Figura 2-2

*Demanda máxima para un periodo de tiempo t.*



*Fuente. Salgado Rodriguez, 2015.*

### 2.2.6. Demanda Mínima

“Es el valle más bajo de la curva de la demanda. La demanda mínima se refiere al punto más bajo en la curva de demanda eléctrica durante un período específico. Este valle representa el nivel más bajo de consumo de energía en un sistema de distribución, generalmente observado durante las horas de menor actividad económica o residencial, como las horas nocturnas o temprano en la mañana. Entender la demanda mínima es crucial para la planificación y operación eficiente de un sistema eléctrico, ya que ayuda a determinar la capacidad de generación necesaria para mantener la estabilidad y eficiencia del suministro, evitando el exceso de capacidad que podría resultar en costos innecesarios. Además, analizar la demanda mínima permite a las compañías eléctricas optimizar el mantenimiento de la infraestructura y mejorar la gestión de recursos energéticos” (Salgado Rodriguez, 2015).

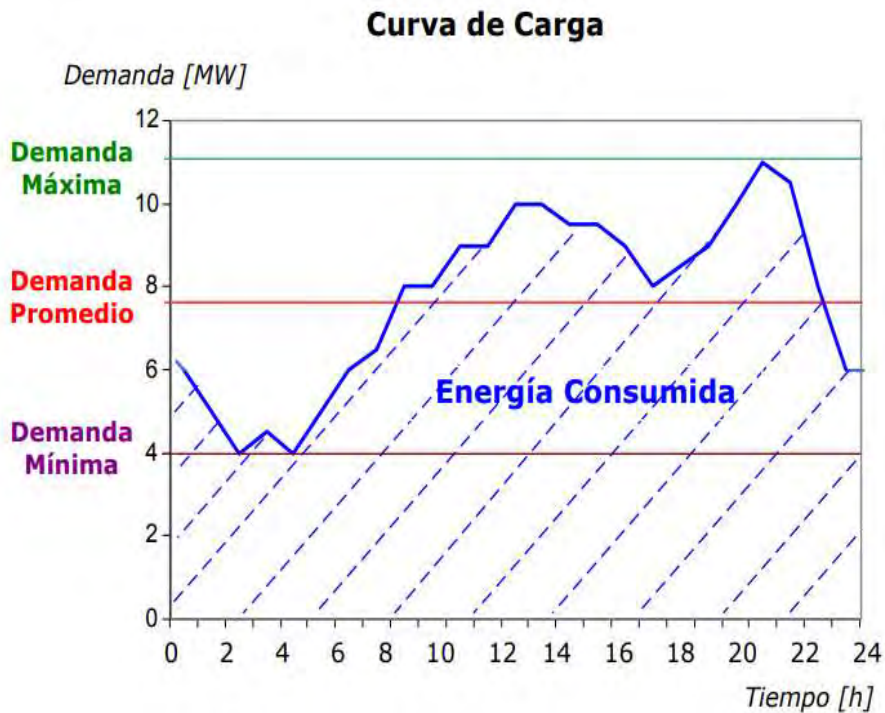
### **2.2.7. Demanda Promedio**

“La demanda promedio se define como el cociente entre el consumo total de energía durante un intervalo de tiempo específico y la duración de dicho intervalo. Representa el nivel medio de consumo de energía en un sistema eléctrico durante un período determinado, proporcionando una visión general de la carga típica que el sistema debe manejar. La demanda promedio es una métrica esencial para la planificación y operación de redes eléctricas, ya que ayuda a identificar patrones de consumo, optimizar la capacidad de generación y distribución, y diseñar estrategias de gestión de la demanda. Al evaluar la demanda promedio, las empresas de servicios públicos pueden mejorar la eficiencia energética y reducir costos al ajustar la producción de energía a las necesidades reales del consumo” (Salgado Rodriguez, 2015).

### **2.2.8. Curva de la Demanda**

“Es la representación gráfica de como varía la demanda o carga eléctrica en el transcurso del tiempo. El intervalo de tiempo elegido a realizar el análisis, puede ser diario, semanal, mensual, anual. La carga no es constante en el periodo analizado” (Salgado Rodriguez, 2015).

**Figura 2-3**  
*Curva de carga diaria.*



*Fuente. Salgado Rodriguez, 2015.*

### 2.2.9. Demanda Promedio Anual

Se calcula como:

$$PD_{med}[MW] = \frac{EDa[MWh]}{8760[h]} \quad (2-1)$$

Donde:

*PD<sub>med</sub>*, Es la potencia demanda promedio anual en MW.

*EDa*, Es la energía consumida por la carga en un año en MW-h.

### 2.2.10. Factor de Carga

“Es la relación entre la energía demanda y la energía que demandaría la carga en el periodo considerado, si estuviese conectada siempre a su potencia máxima” (catedras.unt.edu.ar, 2023).

Y se expresa como las siguientes ecuaciones:

$$f_{car} = \frac{EDa}{PDmax \cdot T} \quad (2-2)$$

$$f_{car} = \frac{PDmed}{PDmax} \quad (2-3)$$

Donde:

$f_{car}$ , es el factor de carga.

$EDa$ , es la energía demanda por la carga en MWh.

$PDmax$ , es la potencia máxima en MW.

$PDmed$ , Es la potencia demanda promedio anual en MW.

### **2.2.11. Tasa de Crecimiento de la Demanda**

“Es el índice que expresa la variación de la demanda eléctrica durante un periodo de tiempo. La tasa de crecimiento en redes de distribución es diferente para cada clase de consumo y se puede obtener mediante análisis estadístico de datos históricos” (Salgado Rodriguez, 2015).

“La demanda máxima y el uso de energía pueden variar por dos razones o una combinación de ellas, siendo estas: La inclusión de nuevos clientes al sistema de distribución debido a la migración de clientes o el crecimiento natural de las mismas.

Nuevos usos de la electricidad (variación del consumo per cápita), este tipo de incremento tiene relación con la adquisición de nuevos aparatos eléctricos y equipos para hogares y oficinas. El aumento de la eficiencia eléctrica, puede conducir a una disminución en el consumo de electricidad” (Ramón Espinoza, 2014).

### **2.2.12. Cuadrículas Geográficas**

“Las cuadrículas gráficas son una herramienta esencial para la representación y el análisis geoespacial de un área. Consisten en la división sistemática de una región geográfica en micro-áreas de tamaño y forma homogénea, generalmente en forma de

cuadrados o rectángulos. Esta división permite una evaluación más detallada y precisa de las características y variables de cada sección del terreno, facilitando el análisis espacial de fenómenos como la densidad de población, el uso del suelo, la distribución de infraestructura y el comportamiento de la demanda energética. Al emplear cuadrículas gráficas, es posible identificar patrones, tendencias y áreas prioritarias para intervenciones específicas, optimizando así la planificación y gestión del territorio. Esta metodología es especialmente útil en proyectos de planificación urbana, ambiental y de servicios públicos, donde la comprensión detallada de las dinámicas espaciales es crucial para el desarrollo efectivo de estrategias y soluciones” (Ramón Espinoza, 2014).

#### **2.2.13. Clases de Uso de Suelo**

“Representa las diferentes categorías de los clientes. Este término es la combinación de los diferentes tipos de clientes que las empresas de distribución eléctrica clasifican según su consumo (por ejemplo, residencias, comercios, industrias, etc.) y la zonificación considerada en los planes de desarrollo territorial establecidos para cada ciudad” (Ramón Espinoza, 2014).

#### **2.2.14. Clasificación de los Métodos de Proyección**

“Los métodos de proyección de demanda pueden ser clasificados en tres categorías según su horizonte de tiempo, el tipo de demanda eléctrica y la técnica matemática. La metodología a usarse depende de los objetivos y la complejidad del estudio” (Mejía Alzate, 2016).

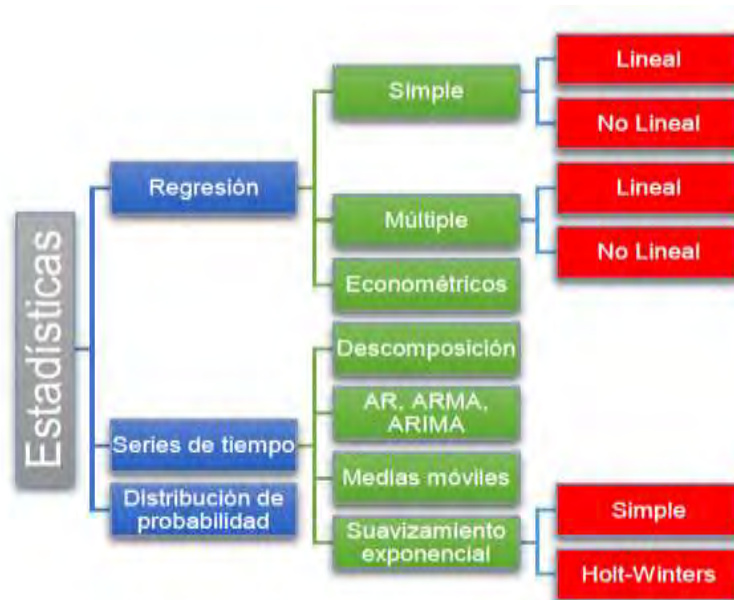
“El Horizonte de tiempo puede ser clasificado dependiendo del periodo de análisis en corto, mediano y largo plazo, los cuales cubren generalmente horizontes de tiempo de cero a un año, de uno a cinco años y periodos superiores a cinco años respectivamente” (Cabera Codos y Panjón Quinde, 2008).

“Los principales métodos para la proyección de la demanda se fundamentan en técnicas matemáticas, que generalmente consideran los datos históricos de la demanda y un horizonte de tiempo de acuerdo a los resultados requeridos. Estas técnicas matemáticas pueden ser clasificadas en técnicas basadas en estadística, inteligencia artificial y análisis por micro-áreas” (Ariza Ramírez, 2013).

Estas técnicas pueden ser divididas en categorías como se muestran en la siguiente figura.

**Figura 2-4**

*Clasificación de los métodos de proyección, según la estadística.*



*Fuente. Ariza Ramírez, 2013.*

#### **2.2.14.1. Métodos de Tendencia**

“Utilizan técnicas de interpolación o extrapolación para predecir el crecimiento de la demanda eléctrica. Trabajan con datos de demanda históricos, identificando en ellos tendencias y patrones de crecimiento de carga para su proyección en el futuro. Dentro del análisis de tendencia por micro-áreas se emplean también herramientas de predicción que utilizan técnicas de análisis estadístico y matemático.

El método construye una función para ajustar los patrones de crecimiento de carga y estimar la demanda eléctrica futura. El método de tendencia más utilizado es el de regresión múltiple el cual ajusta una función polinomial a los datos históricos de demanda máxima registrada, extrapolando esa función en el futuro para proporcionar la proyección” (Willis, 2002).

#### ***2.2.14.2. Métodos de Simulación Espacio Temporal***

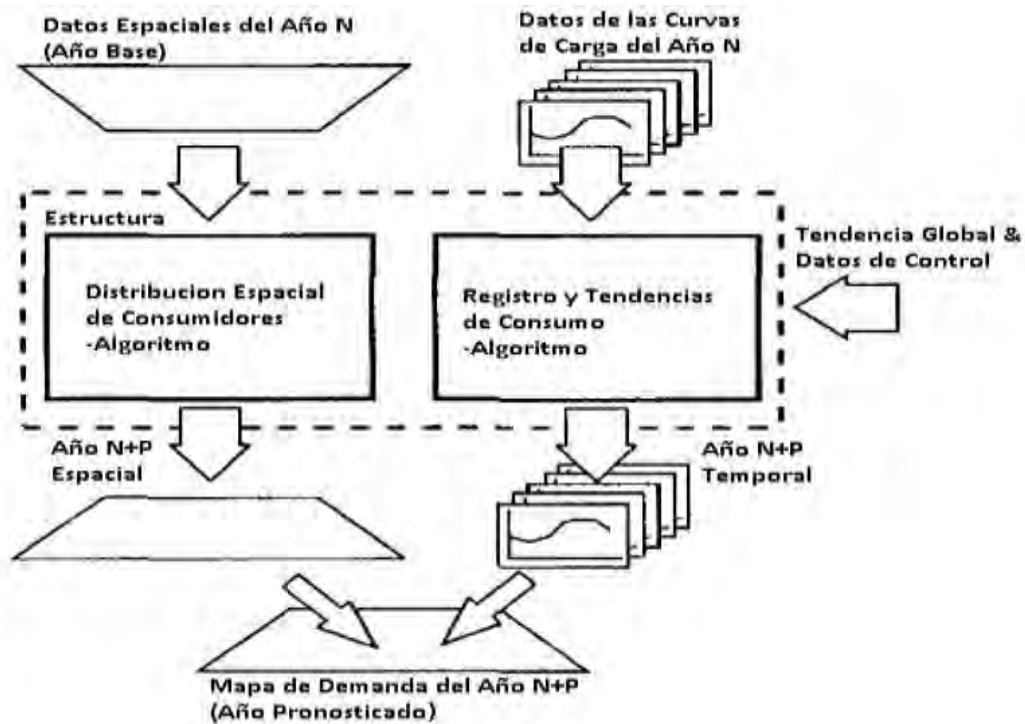
“Son técnicas que intentan reproducir procesos históricos de las variaciones del crecimiento de la demanda eléctrica en determinados lugares y en periodos de tiempo diferentes. Para ello es necesario información sobre el uso del suelo, factores de influencia y clasificación de tipos de clientes. La principal característica de los métodos de simulación es determinar el incremento de la densidad de carga en cada cuadrícula geográfica.

Este método utiliza la carga histórica y factores geográficos para identificar información temporal, espacial y posteriormente determinar la magnitud del crecimiento de la carga. Por lo general simula el desarrollo urbano en términos de los patrones del uso de suelo y curvas de carga. Dependiendo de la calidad de los datos puede ser considerado un método adecuado para el mediano y largo plazo.

En general los métodos de simulación contienen dos módulos que trabajan coordinadamente, en el primero se realiza un análisis espacial y en el segundo un análisis temporal. El análisis de los clientes se realiza sobre una base espacial, determinando dónde, qué tipos y cuántos clientes se encuentran en cada cuadrícula. El módulo temporal emplea un análisis per cápita, que no tiene en cuenta la ubicación, únicamente consideran la variación en el uso como una función del tipo de consumidor o uso final de la energía. La simulación desacopla las causas del crecimiento de la demanda y las dimensiones de la proyección” ” (Willis, 2002).

**Figura 2-5**

*Modelos aplicados por el método de simulación espacio temporal.*



*Fuente. Willis, 2002.*

“Los métodos de simulación son buenos en la proyección del crecimiento de áreas vacantes. Funcionan bien en altas resoluciones espaciales, debido a que tienden a proyectar el desarrollo de la demanda en un periodo de tiempo desde el área vacante a totalmente desarrollada. Sin embargo, a bajas resoluciones espaciales, la proyección del crecimiento en un solo periodo ocasiona inconvenientes, por lo que algunos métodos de simulación realizan la proyección en funciones escalonadas como una variación de la curva S utilizada en los métodos de tendencia.

Por función escalonada se entiende que el crecimiento de la demanda en cada micro-área se desarrolla por niveles, es decir una cuadrícula sin desarrollo pasa a un estado de desarrollo bajo en un periodo de tiempo, para el siguiente periodo pasa a un estado medio hasta alcanzar su estado de saturación en un nivel de desarrollo máximo” (Willis, 2002).

### **2.2.14.3. Comparación de las Metodologías**

“Los métodos de proyección por tendencias y simulación tienen enfoques diferentes tanto en sus procesos, como en la necesidad de datos. Tienen consistencia en sus resultados, pero en contextos de aplicación diferentes. La precisión de los métodos de simulación depende de la resolución espacial, que es lo contrario a los de tendencia.

El método de simulación es el más adecuado para la alta resolución espacial (cuadrículas pequeñas), predicción a largo plazo y la implementación de diferentes escenarios. Los métodos de tendencia son más adecuados para proyección de baja resolución espacial (grandes zonas). Los métodos de simulación requieren más datos y más criterio de los planificadores que los métodos de tendencias” (Willis, 2002).

### **2.2.15. Proyección de la Demanda Mediante Simulación del Uso del Suelo**

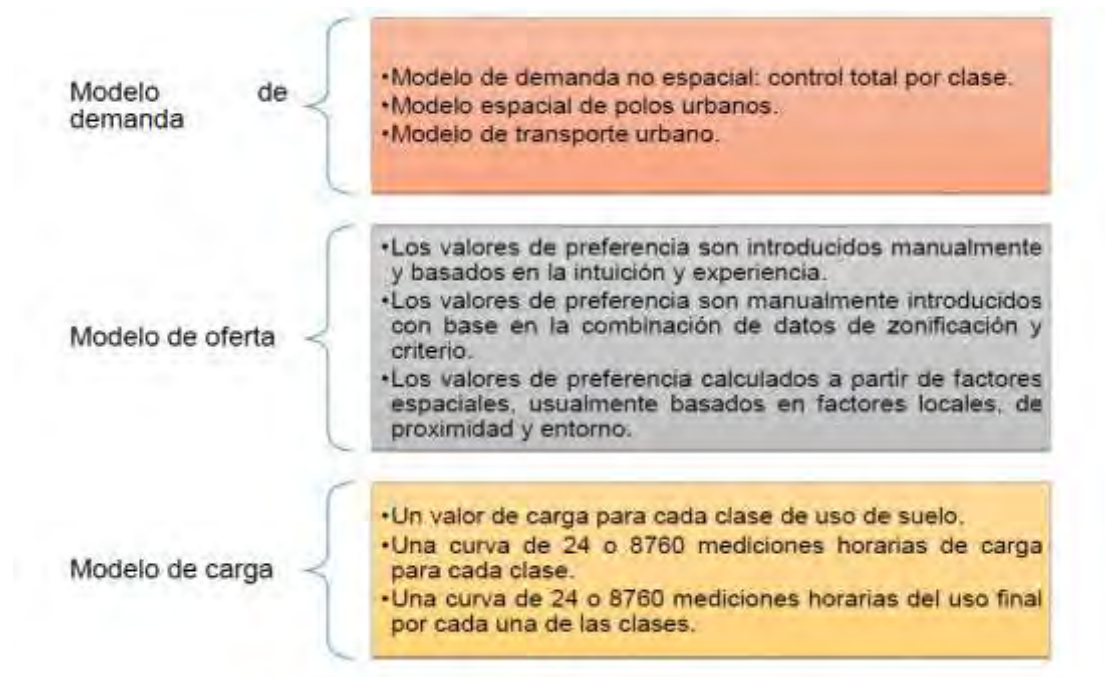
“El método de simulación basado en el uso de suelo pretende modelar el proceso y las causas del crecimiento de la demanda eléctrica con el objetivo de proyectar dónde, cuándo y cómo se desarrollará la demanda a futuro, además identificar tendencias y patrones de crecimiento.

Todos los métodos de proyección mediante simulación del uso de suelo aplican la misma metodología o concepto y difieren únicamente en las técnicas aplicadas. Este método tiene dos etapas de análisis los cuales se basan en el análisis de la tendencia del crecimiento de la demanda y del uso del suelo, es decir la simulación inicia con una fase de entrenamiento en la cual, datos presentes e históricos son analizados para determinar tendencias y patrones de ubicación. Estos son utilizados para proyectar datos sobre el tipo y densidad de uso de suelo, cuadrícula por cuadrícula. La proyección resultante es transformada en demanda eléctrica, con la aplicación de un modelo establecido que represente la carga de cada clase de uso de suelos.

La aplicación del método es compleja y necesita una gran cantidad de datos para su desarrollo. La simulación de uso del suelo se divide en tres componentes básicos que son los modelos de demanda, oferta y carga, los cuales pueden ser clasificados, dependiendo de la calidad de datos y la complejidad del análisis, en subcategorías como se muestra en la Figura siguiente” (Ramón Espinoza, 2014).

**Figura 2-6**

*Modelos de pronóstico según los métodos de simulación.*



*Fuente. Ramón Espinoza, 2014.*

“La demanda debe considerarse como las exigencias o restricciones de ubicación de alguien que busca la expansión de un tipo particular de uso de suelo, para lo cual realiza una exploración para encontrar el terreno que se ajuste a sus necesidades. La oferta determina todas las áreas que están disponibles para el desarrollo de una clase particular de uso de suelo.

La combinación de la oferta y la demanda resulta en el crecimiento, es decir, una determinada área puede estar apta para una clase particular de uso de suelo, pero el

crecimiento no está garantizado sólo porque ésta sea adecuada. Igualmente, la demanda no asegura crecimiento, ya que también debe existir la oferta de un terreno adecuado.

Debido a que los métodos de simulación basados en el uso de suelo modelan la demanda espacial del terreno y la oferta el uso de suelo, se emplea varias formas de análisis, mediante un código con tres números que correspondan respectivamente a las categorías de clasificación de los modelos de demanda, de oferta y carga.

Un modelo de simulación x-x-x es un proceso que combina, la necesidad de espacio para nuevos clientes el cual es calculado por el modelo de demanda (primera “x”) y cuadrículas vacantes disponibles a ser desarrolladas calculadas por factores locales de proximidad y entorno para cada clase de uso de suelo resultados del modelo de oferta (segunda “x”), esta combinación indica cuan atractiva es una cuadrícula para el desarrollo de nuevos clientes.

El crecimiento total efectivo por tipo de cliente es distribuido en toda la región de estudio disponible, en forma proporcional a sus valores de preferencia. Finalmente, el modelo de carga (tercera “x”) es el encargado de convertir la cantidad de clientes en demanda eléctrica, quedando definida la magnitud de demanda en cada área específica.

Por ejemplo, un modelo de simulación 2 – 2 – 1 determina valores de preferencia de la combinación de exigencias de terreno determinado por el modelo espacial de polos urbanos y de las puntuaciones de varios factores manualmente introducidos con base en la combinación de datos de zonificación y criterio. Los valores de preferencia para el desarrollo de nuevos clientes, son usados por un método de distribución el cual emplea técnicas probabilísticas para la selección de áreas, sobre los cuales el crecimiento total es dividido en forma proporcional a sus preferencias. Un valor de carga para cada clase de uso de suelo es el encargado de convertir los nuevos clientes en carga eléctrica” (Ramón Espinoza, 2014).

### **2.3. Marco Normativo.**

#### **2.3.1. Ministerio de Energía y Minas (MINEM):**

- Ley General de Electricidad - D.L. 23406: Este es el principal instrumento legal que regula el sector eléctrico en el Perú. Establece los principios, objetivos y políticas generales del sector, así como las funciones de los diversos actores involucrados.
- Normas técnicas: El MINEM emite una serie de normas técnicas que establecen los requisitos para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Estas normas son fundamentales para la planificación y operación del sistema eléctrico.
- Planes de expansión: El MINEM es responsable de elaborar los planes de expansión del sistema eléctrico a largo plazo, los cuales sirven como guía para la inversión en nuevas centrales de generación y líneas de transmisión.
- Decreto Ley N° 25844, también conocido como Ley de concesiones eléctricas, regula las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.
- Código Nacional de Electricidad: tiene como objetivo establecer las reglas preventivas para salvaguardar las condiciones de seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal, y de la propiedad, frente a los peligros derivados del uso de la electricidad

### **2.3.2. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN):**

- **Reglamento de Comercialización de Energía Eléctrica - DECRETO SUPREMO N° 017-2000-EM:** Este reglamento establece las reglas para la comercialización de energía eléctrica en el mercado mayorista y minorista.
- **Reglamento de Conexiones Eléctricas - R.D. N° 080-78-EM/DGE 16.03.1978:** Regula los procedimientos para la conexión de nuevos usuarios al sistema eléctrico.
- **Supervisión y fiscalización:** El OSINERGMIN es responsable de supervisar y fiscalizar el cumplimiento de las normas del sector eléctrico por parte de los agentes económicos.

### **2.3.3. Otros Entes Reguladores:**

- **Autoridades regionales y locales:** Estas entidades tienen competencias en materia de ordenamiento territorial y ambiental, lo que puede influir en la planificación y ejecución de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica.
- **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI):** La información meteorológica y climatológica proporcionada por el SENAMHI es fundamental para la proyección de la demanda eléctrica, especialmente en el caso de sistemas hidroeléctricos.

## CAPÍTULO III

### 3. Situación Actual del Alimentador Dolorespata 05

#### 3.1. Descripción de la Subestación de Transformación Dolorespata

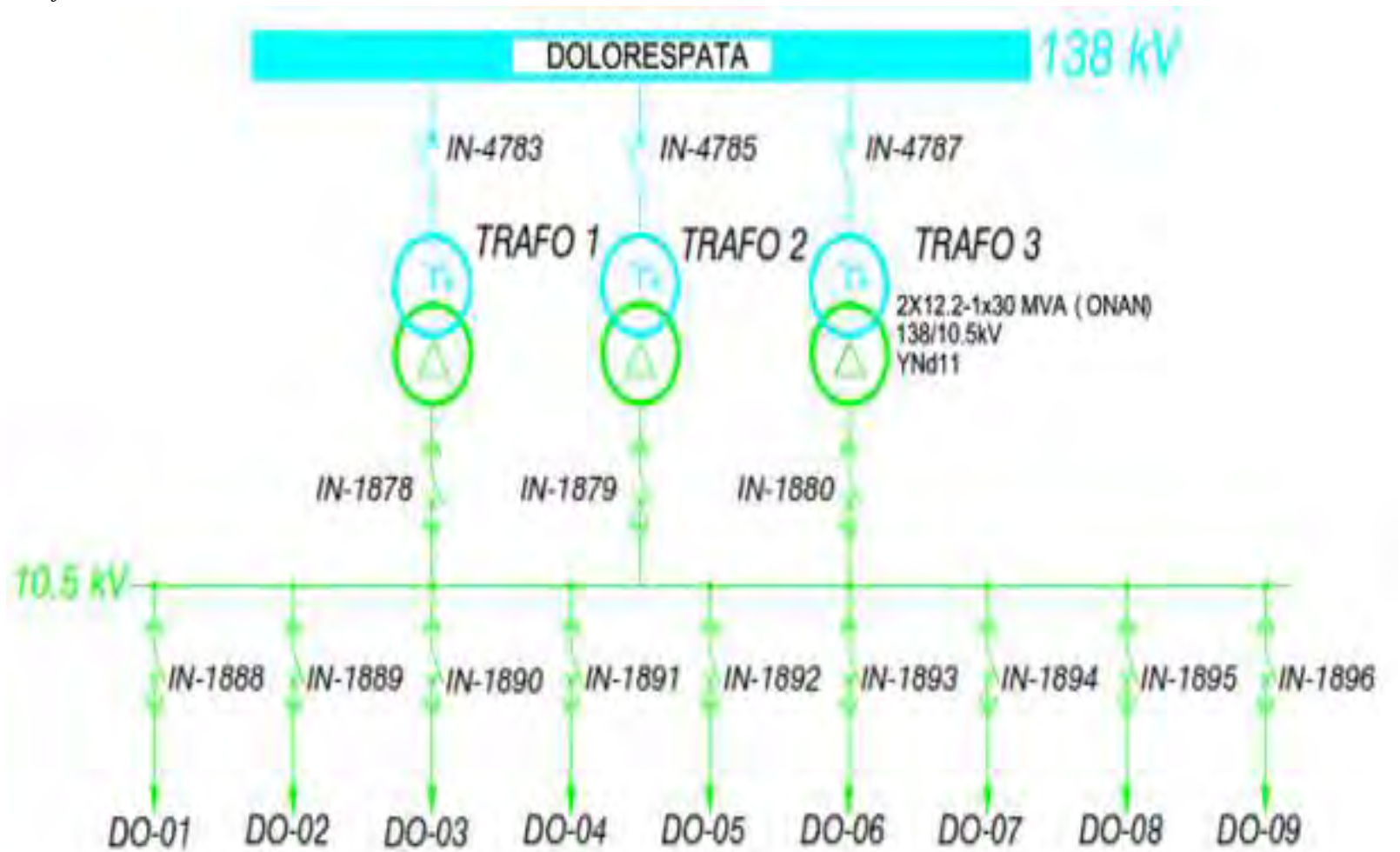
La Subestación de Transformación Dolorespata está constituida por 3 Transformadores de Potencia de dos devanados, dos de ellos con una potencia de 12.2 MVA y el otro con una potencia de 30 MVA conectados en paralelo y operando a la tensión de 138 kV en el lado de alta y 10.5 kV en el lado de baja.

La SET Dolorespata esta interconectada a la SET Cachimayo a través de la Línea de Transmisión L-1003 con una distancia de 13.5 Km y con la SET Quencoro a través de la Línea L-1004 con una distancia de 8.34 Km, está ultima SET también suministra de energía a la ciudad del Cusco.

Actualmente la SET Dolorespata cuenta con 09 Alimentadores de Media Tensión (DO01, DO02, DO03, DO04, DO-05, DO06, DO07, DO08, DO09) que están conectados a la barra de 10.5 kV según el diagrama Unifilar de la Figura siguiente que se muestra a continuación.

**Figura 3-1**

*Diagrama Unifilar SET DOLORESPATA.*



*Fuente.* Centro de Control Electro Sur Este.



### 3.2. Descripción del Alimentador DO-05

Recorre la Av. Ramón Castilla y continúa por la Av. El Sol hasta llegar a la SED 0010196, situada en el pasaje Hermoza. Este alimentador abastece la zona central de la ciudad y también proporciona energía a:

- Instituciones públicas: RENIEC, Teatro Municipal.
- Plazas e Iglesias.
- Instituciones privadas: Banco Continental, BCP, Telefónica del Perú, Interbank, locales comerciales, Colegios y Hoteles.

**Tabla 3-1**

*Datos Generales del Alimentador DO-05*

<b>ALIMENTADOR DO-05</b>	
Longitud del alimentador en Km	12.33
Total de Subestaciones de Distribución	34
Cantidad de Clientes GIS	2980
Cantidad de Luminarias	1184

*Fuente. Elaboración propia.*

**Tabla 3-2***Listado de Subestaciones y sus características*

NOMBRESED	CODIGOTI	CODPROP	CODIGOTE	POTENCIA	CODIGOTECNICOSED	CODIGOSSED
1 AV. INFANCIA	SEM	PU	DO05	400	10063	ESE001SED000063
2 BALCONCILLO ALTO	MON	PU	DO05	50	10412	ESE001SED0000412
3 GARCILASO REPRESENTACIO BIP		PA	DO05	50	10688	ESE001SED0000688
4 UCCHULLO ALTO	MON	PU	DO05	100	10219	ESE001SED0000219
5 MERCADO ROSASPATA	BIP	PU	DO05	160	11109	ESE001SED0001109
6 CAJA MUNICIPAL DE AHORR( COM		PA	DO05	125	11229	ESE001SED0001229
7 RADIO SALKANTAY	MON	PA	DO05	25	10326	ESE001SED0000326
8 URB. LUCREPATA	BIP	PU	DO05	160	10162	ESE001SED0000162
9 SOCORROPATA	MON	PU	DO05	50	10388	ESE001SED0000388
10 PLAZA ESPAÑA	MON	PU	DO05	160	10028	ESE001SED0000028
11 CLINICA GRUPO PERUANO SI COM		PA	DO05	300	11461	ESE001SED0001461
12 APV AYUDA MUTUA	MON	PU	DO05	50	11242	ESE001SED0001242
13 JOSE ESCOBEDO	MON	PU	DO05	50	10975	ESE001SED0000975
14 AYUDA MUTUA III	MON	PU	DO05	50	10495	ESE001SED0000495
15 TAMBILLO	BIP	PU	DO05	50	10092	ESE001SED0000092
16 AV. CONFRATERNIDAD	SEM	PU	DO05	315	10155	ESE001SED0000155
17 BIBLIOTECA REGIONAL	SEM	PU	DO05	400	10216	ESE001SED0000216
18 AV. ARGENTINA UCCHULLO	BIP	PU	DO05	50	10175	ESE001SED0000175
19 HOTEL MABEY	CAS	PA	DO05	100	10703	ESE001SED0000703
20 JIRON ATAHUALLPA	SEM	PU	DO05	250	10013	ESE001SED0000013
21 S.E. CLORINDA MATTO	CAS	PA	DO05	400	11100	ESE001SED0001100
22 MUTUAL CUSCO	CAS	PA	DO05	200	10373	ESE001SED0000373
23 APV JARDINES DEL INKA	BIP	PU	DO05	100	10411	ESE001SED0000411
24 COLEGIO GARCILASO	CAS	PA	DO05	630	10156	ESE001SED0000156
25 ZAGUAN DEL CIELO	SEM	PU	DO05	250	10211	ESE001SED0000211
26 AYUDA MUTUA II	MON	PU	DO05	100	10494	ESE001SED0000494
27 URB. MATEO PUMACCAHUA	SEM	PU	DO05	160	10037	ESE001SED0000037
28 BALCONCILLO	MON	PU	DO05	100	10344	ESE001SED0000344
29 URB. GUADALUPE	BIP	PU	DO05	50	10174	ESE001SED0000174
30 ASILO DE ANCIANOS	CAS	PA	DO05	160	10164	ESE001SED0000164
31 SED AYUDA MUTUA	BIP	PU	DO05	50	11255	ESE001SED0001255
32 CRUZPATA	SEM	PU	DO05	160	10218	ESE001SED0000218
33 GARCILASO 2	MON	PU	DO05	160	10819	ESE001SED0000819
34 TELEFONICA DEL PERU (ZARU CAS		PA	DO05	50	10492	ESE001SED0000492

*Fuente. Base de datos Gis (Else)*

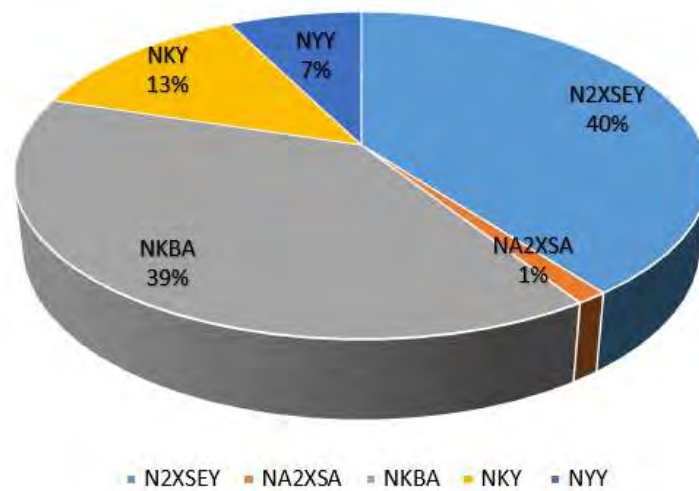
### 3.3. Tipos de Conductores Utilizados en el Alimentador DO-05

#### 3.3.1. Conductores Tipo Subterráneos del Alimentador DO-05

Con una longitud de 7 km, el alimentador utiliza conductores subterráneos de los siguientes tipos: N2XSEY (cable unipolar con conductor de cobre, aislamiento XLPE y revestimiento exterior de PVC); NA2XSA (cable de cobre con aislamiento de papel impregnado en aceite, revestimiento de plomo, cubierta protectora interior y armadura de fleje de acero); NKBA (cable de cobre con aislamiento de papel impregnado en aceite, revestimiento de plomo, cubierta protectora y armadura de acero); NKY (conductor de cobre con aislamiento de papel impregnado en aceite y revestimiento de plomo); y NYY (cable de cobre con aislamiento termoplástico y revestimiento exterior).

**Figura 3-3**

*Conductores Subterráneos utilizados en el Alimentador DO-05.*



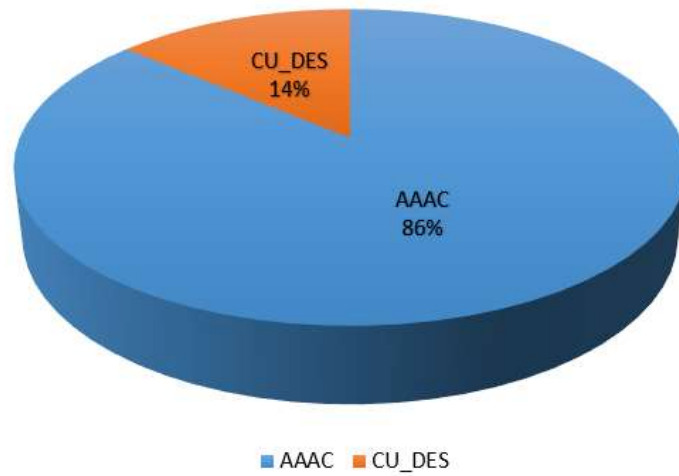
*Fuente.* Base de datos ELSE.

#### 3.3.2. Conductores Tipo Aéreos del Alimentador DO-05

La longitud de los conductores aéreos empleados en el alimentador es de 6.74 km, e incluye conductores tipo AAAC (cableado concéntrico compuesto por una o varias capas de alambres de aleación de aluminio) y cobre desnudo.

**Figura 3-4**

*Conductores Áereos utilizados en el Alimentador DO-05.*



*Fuente.* Base de datos ELSE.

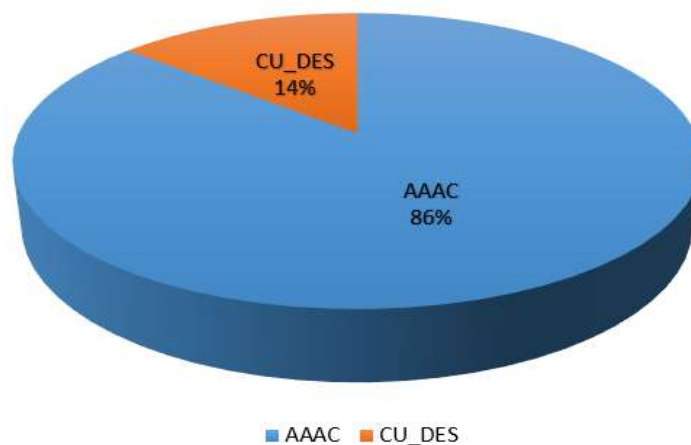
### **3.4. Clasificación de las Subestaciones de Distribución del Alimentador DO-05**

#### **3.4.1. Según el Tipo de Instalación**

De acuerdo con el tipo de instalación del Alimentador DO-05, que puede ser Monoposte, Biposte, Caseta o Compacta.

**Figura 3-5**

*Según el Tipo de Instalación.*



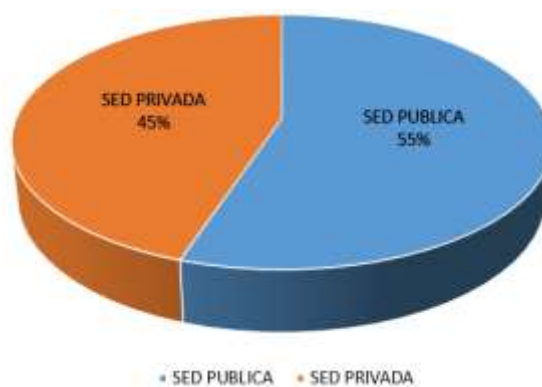
*Fuente.* Base de datos ELSE.

### 3.4.2. Según el Tipo de Servicio

A continuación, la Figura siguiente se ilustra la distribución de las SED's del Alimentador DO-05, clasificadas según el tipo de servicio (Servicio Público o Servicio Privado).

**Figura 3-6**

*Según el Tipo de Servicio.*



*Fuente.* Base de datos ELSE.

### 3.4.3. Según el Nivel de Tensión en el Secundario

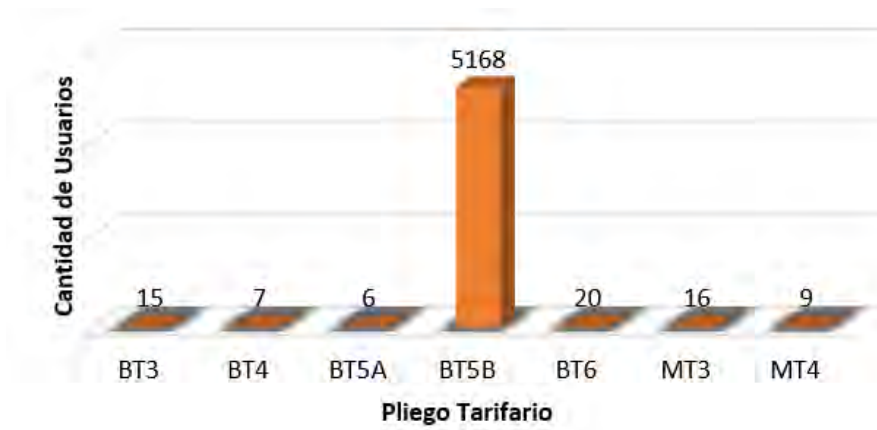
La mayoría de estas SED's suministran tensiones de 380 V, reflejando la predominancia de esta tensión en el sistema de distribución.

### 3.5. Clasificación del Consumo de Energía según el Pliego Tarifario

El alimentador DO-05 cuenta con una variedad de usuarios que aplican diferentes Pliegos Tarifarios del Servicio Público de Electricidad, de acuerdo con los contratos de energía para los diversos niveles de tensión. Como se muestra en la siguiente figura, la tarifa BT5B es la que predomina en el Alimentador DO-05.

**Figura 3-7**

*Cantidad de usuarios por pliego tarifario.*



*Fuente.* Base de datos ELSE.

## CAPÍTULO IV

### **4. Pronóstico Espacial de la Demanda Mediante la Simulación Espacio Temporal**

#### ***4.1. Distribución Geográfica de Carga***

Se implementa una distribución geográfica de la carga utilizando el método de áreas pequeñas o espaciales, que divide uniformemente la ciudad de Cusco en rectángulos idénticos basados en el sistema de coordenadas geográficas. Esta división genera 256 áreas rectangulares, cada una con dimensiones de 992 metros de largo por 530 metros de ancho. Este enfoque facilita la zonificación del uso del suelo y permite realizar un estudio georreferenciado detallado de la concentración de carga en la región.

#### ***4.2. Zonificación de uso de suelos***

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la distribución de la demanda en la ciudad del Cusco, basándose en el Plan de Desarrollo Urbano 2006-2011 de la Municipalidad Provincial del Cusco y en concordancia con la propuesta de Zonificación de Uso de Suelos. Las cuadrículas fueron clasificadas según el tipo de zona y la densidad urbana de uso del suelo.

La zonificación detallada permanece vigente durante el periodo de estudio, tal como se certifica en el Oficio N° 290-2010-GDUR-MPC emitido por el Gerente de Desarrollo Urbano y Rural, Arquitecto Dileam Uscamayta Loayza, y en el informe N° 105-SGGPD-GDUR-2010 del Sub Gerente de Gestión del Plan, Arquitecto Ángel Saji Carcagno, ambos documentos obtenidos a solicitud nuestra.

Adicionalmente, para complementar y verificar el uso y ocupación de los suelos en las áreas de estudio que no pudieron ser inspeccionadas en campo, se utilizó el programa Google Earth. Esta tabla se muestra a continuación.





La tabla anterior, que aborda la densidad de uso de suelo, se basa en la clasificación propuesta por el Plan de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial del Cusco en su Zonificación de Uso de Suelos. Para los propósitos de este estudio, la clasificación ha sido adaptada y sintetizada, destacando que la zonificación será principalmente residencial, dado que el alimentador DO-05 se ubica mayormente en una zona de este tipo.

**Tabla 4-2**  
*Zonificación residencial*

<b>Zonificación de Uso de Suelos</b>					
<b>Zonificación</b>	<b>Usos</b>	<b>Densidad Neta (Habitantes/ Hectárea)</b>	<b>Lote Mínimo [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Area Libre [%]</b>	<b>Altura de Edificación (pisos)</b>
Residencial de baja densidad	Unifamiliar	500	300	40	3
	Multifamiliar	600	300	40	4
	Unifamiliar	1300	120	30	3
Residencial de densidad media	Multifamiliar	1300	160	30	4
	Conjunto Residencial	1300	450	30	4
	Unifamiliar	2250	120	30	5
Residencial de alta densidad	Multifamiliar	2250	200	30	6
	Conjunto Residencial	2250	450	30	6
Residencial paisajista de baja densidad	Unifamiliar	180	200	50	2
Residencial paisajista de densidad media	Unifamiliar	240	180	40	2
Zona industrial		(*)	(*)	(*)	(*)
Zona de comercio		(*)	(*)	(*)	(*)

*Fuente. Zonificación de suelos- Municipalidad Provincial del Cusco.*

### ***4.3. Información Georreferenciada del Área de Estudio***
















La importancia del diagnóstico de las subestaciones georreferenciadas en la región estudiada radica en su capacidad para identificar la distribución espacial de la demanda, permitiendo así caracterizar las áreas con mayores y menores necesidades energéticas. Las cargas de cada subestación se determinaron a partir de la base de datos de facturación proporcionada por la empresa concesionaria para cada uno de los clientes. Estos datos fueron posteriormente procesados para calcular el consumo máximo de potencia asignado a cada subestación.

### ***4.4. Zonificación Georreferenciada De Los Sectores De Alta Concentración De Carga***

El detalle comercial, junto con la información del sistema georreferenciado y la aplicación del software ArcGIS, ha permitido visualizar espacialmente las zonas con alta concentración de carga. La aplicación en ArcGIS calcula la potencia máxima de cada cuadrícula o área espacial como la suma de las potencias máximas de las subestaciones georreferenciadas dentro de dicha área. La potencia resultante en cada cuadrícula es luego representada gráficamente.

Cada área espacial se colorea en función de la potencia máxima, variando desde verde (indicación de menor potencia) hasta rojo (indicación de mayor potencia), de acuerdo con un rango de máxima demanda de potencia que se establece automáticamente en la aplicación ArcGIS, como se muestra en la figura siguiente.

**Tabla 4-3***Asignación de colores de acuerdo a la concentración de carga en KW*

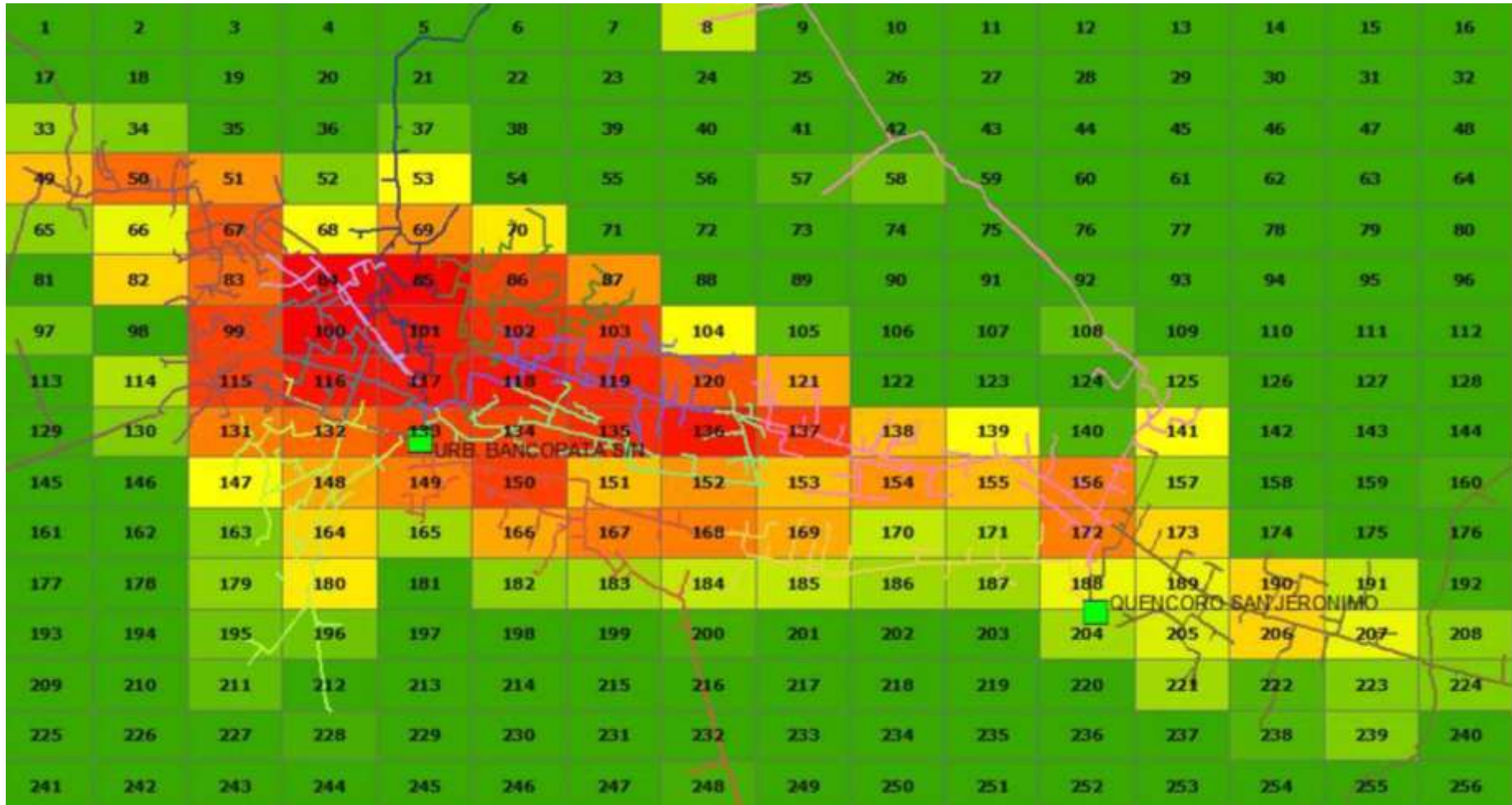
Símbolo	Concentración de carga en KW
	0-0.0249
	0.0249-0.088
	0.088-0.168
	0.168-0.251
	0.251-0.420
	0.420-0.614
	0.614-0.911
	0.911-1.147
	1.147-1.606
	1.606-2.263
	2.263-3.394
	3.394-5.214
	5.214-10.31
	10.31-16.84
	16.84-34.75

*Fuente. SID Electro Sur Este.*

Según la asignación de colores mencionada anteriormente, se presenta la siguiente zonificación basada en la concentración de carga eléctrica. Esta zonificación permite identificar claramente las áreas de la ciudad con diferentes niveles de demanda energética, lo que facilita el análisis y la planificación de la infraestructura de distribución. Las zonas de menor demanda están representadas en verde, mientras que las zonas con mayor concentración de carga se muestran en tonos rojos, permitiendo así una visualización clara y efectiva de las áreas que requieren mayor atención en términos de capacidad de generación y distribución de energía.

**Figura 4-1**

*Zonificación de alta concentración de carga para la ciudad del Cusco.*

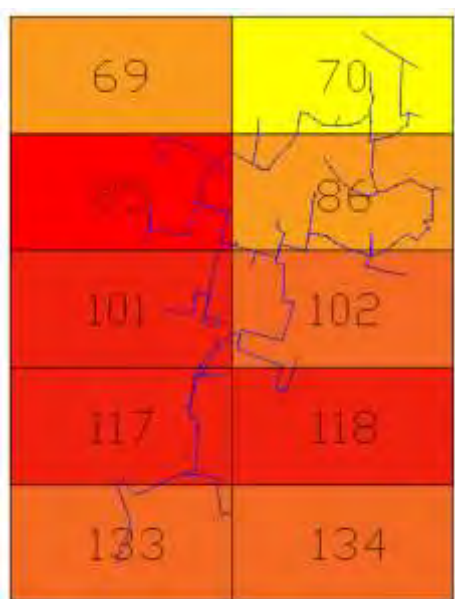


*Fuente. Base de datos Electro Sur Este.*

Según la figura anterior que muestra la zonificación de alta concentración de carga en la ciudad del Cusco, se presenta el siguiente mapa de densidad, el cual corresponde específicamente a la zonificación que incluye al alimentador Dolorespata 05.

**Figura 4-2**

*Zonificación de alta concentración de carga para el alimentador DO-05.*



*Fuente. Base de datos Electro Sur Este.*

De acuerdo a la zonificación mostrada en la figura anterior, el alimentador Dolorespata 05 se extiende por los cuadrantes 69, 70, 85, 86, 101, 102, 117, 118, 133 y 134.

**4.5. Densidad De Carga Por Espaciales**

La densidad de carga para cada cuadrícula se determinó dividiendo su potencia máxima entre su área. Los intervalos de densidad para cada zona están definidos por la resolución OSINERGMIN N° 181-2009-OS/CD.



#### 4.6. Evolución del consumo del alimentador DO-05

El dato exhibido es la recopilación del consumo de los clientes pertenecientes al alimentador Dolorespata 05, obtenido de los registros de la gerencia comercial y de la gerencia de ingeniería de Electro Sur Este, la cual corresponde al alimentador de media tensión.

Y se resume a continuación:

**Tabla 4-5**

*Evolución histórica máxima alimentado Dolorespata 05*

<b>Evolución histórica de la máxima demanda de potencia [KW]</b>				
<b>Alimentador</b>	<b>Año 2020</b>	<b>Año 2021</b>	<b>Año 2022</b>	<b>Año 2023</b>
Dolorespata 05	6,195	6,514	6,592	6,818
<b>TC (%)</b>		5.15	1.20	3.42

*Fuente. Base de datos ELSE.*

#### 4.7. Proyección Espacial De La Demanda

Los desplazamientos de carga generan serios desafíos para las proyecciones de demanda y pueden afectar significativamente la precisión de las mismas. La proyección espacial se convierte en una herramienta esencial para identificar el desplazamiento futuro de la carga y las áreas con potencial de crecimiento, como resultado de los siguientes cambios:

Una zona que, durante mucho tiempo, presentó una tasa de crecimiento constante o en aumento, puede dejar de crecer. Un área previamente residencial puede transformarse gradualmente en comercial y/o industrial. Un terreno vacío puede experimentar un rápido crecimiento y convertirse en una zona residencial, comercial o industrial. Una zona alimentada por un alimentador puede trasladarse a otro alimentador adyacente.

A continuación, se presentan los resultados de las demandas máximas de potencia en kW, obtenidos mediante las predicciones.

**Tabla 4-6***Proyección espacio temporal de la demanda para el alimentador Dolorespata 05*

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Nro. cuadrícula	Densidad de carga MW/Km2	Área km2	Potencia proyectada en KW				
						2023	2024	2025	2026	2027
1	0010061	100.00	70	0.15	375.73	56.36	60.47	64.88	69.61	74.68
2	0010695	500.00	102	1.8	156.13	281.03	301.51	323.50	347.08	372.38
3	0010425	160.00	70	0.15	510.81	76.62	82.21	88.20	94.63	101.53
4	0010533	100.00	70	0.15	391.70	58.76	63.04	67.63	72.56	77.85
5	0010083	100.00	69	0.27	124.42	33.59	36.04	38.67	41.49	44.51
6	0010490	50.00	70	0.15	276.62	41.49	44.52	47.76	51.24	54.98
7	0010011	50.00	70	0.15	162.89	24.43	26.21	28.13	30.18	32.38
8	0010274	150.00	69	0.27	244.13	65.91	70.72	75.88	81.41	87.34
9	0010311	250.00	133	1.61	104.10	167.60	179.82	192.93	206.99	222.08
10	0010426	100.00	70	0.15	522.03	78.31	84.01	90.14	96.71	103.76
11	0010205	160.00	69	0.27	352.75	95.24	102.19	109.64	117.63	126.20
12	0011181	500.00	86	1.01	253.71	256.25	274.93	294.97	316.48	339.55
13	0010108	500.00	118	3.73	87.46	326.21	350.00	375.51	402.88	432.26
14	0010550	500.00	102	1.8	146.21	263.18	282.36	302.95	325.03	348.73
15	0010006	150.00	69	0.27	284.08	76.70	82.29	88.29	94.73	101.63
16	0010089	75.00	69	0.27	180.79	48.81	52.37	56.19	60.28	64.68
17	0010198	400.00	133	1.61	123.60	198.99	213.50	229.06	245.76	263.68
18	0010196	500.00	134	1.71	181.08	309.65	332.23	356.45	382.43	410.31
19	0011108	250.00	133	1.61	97.71	157.31	168.77	181.08	194.28	208.44
20	0010310	200.00	133	1.61	77.56	124.88	133.98	143.75	154.23	165.47
21	0010072	500.00	134	1.71	182.15	311.48	334.19	358.55	384.69	412.73

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Nro. cuadrícula	Densidad de carga MW/Km2	Área km2	Potencia proyectada en KW				
						2023	2024	2025	2026	2027
22	0010010	630.00	117	3.09	110.99	342.97	367.97	394.79	423.57	454.45
23	0010203	400.00	133	1.61	178.11	286.76	307.66	330.09	354.15	379.97
24	0010172	50.00	70	0.15	216.27	32.44	34.81	37.34	40.07	42.99
25	0010117	320.00	69	0.27	314.98	85.05	91.25	97.90	105.03	112.69
26	0010818	250.00	86	1.01	155.72	157.28	168.74	181.05	194.24	208.40
27	0010204	160.00	69	0.27	210.74	56.90	61.05	65.50	70.27	75.40
28	0010154	400.00	102	1.8	142.40	256.32	275.01	295.06	316.57	339.65
29	0010171	400.00	86	1.01	171.06	172.77	185.36	198.88	213.37	228.93
30	0010472	100.00	70	0.15	383.77	57.57	61.76	66.26	71.10	76.28
31	0010197	800.00	85	5.62	98.69	554.64	595.07	638.45	684.99	734.93
32	0010201	400.00	86	1.01	266.10	268.76	288.36	309.38	331.93	356.13
33	0010459	1000.00	101	3.24	174.93	566.79	608.10	652.44	700.00	751.03
34	0010042	500.00	102	1.8	168.95	304.11	326.28	350.07	375.59	402.97

*Fuente. Elaboración propia.*

Luego de un análisis y considerando todos los factores evaluados en el presente estudio, se proyecta que para el año 2027 la demanda eléctrica en el alimentador Dolorespata 05 alcanzará los 8,209 kW. Esta proyección es el resultado de aplicar el método de simulación espacio-temporal, el cual ha permitido estimar la evolución de la demanda en función de los cambios demográficos y el crecimiento urbano esperados en la zona durante el periodo 2023-2027, considerando una tasa de crecimiento anual de 7.29%, según la memoria anual de la empresa ELSE.

#### ***4.8. Escenarios de crecimiento***

El resultado anterior corresponde a un escenario esperado; sin embargo, para un análisis más completo y preciso, es fundamental considerar tres tipos de escenarios: optimista, esperado y conservador. Estos escenarios permitirán evaluar la demanda eléctrica desde diferentes perspectivas y niveles de incertidumbre, ofreciendo una visión más amplia y robusta de las posibles variaciones en los resultados. A continuación, se desarrollan en detalle cada uno de estos escenarios, considerando las distintas variables y factores que podrían influir en la proyección de la demanda.

Por otro lado, según el "Manual de Proyecciones de Demanda Energética" publicado por la Agencia Internacional de Energía, se sugiere ajustar los escenarios de proyección en un rango de  $\pm 10\%$  para reflejar diferentes niveles de incertidumbre y variabilidad en las condiciones económicas y tecnológicas.

El margen de porcentaje para ajustar un escenario esperado y obtener los escenarios optimista y conservador varía dependiendo del sector y las condiciones específicas de la proyección. Sin embargo, en el contexto de proyecciones de demanda eléctrica, un enfoque común es utilizar un margen del 10%.

- **Escenario Optimista:** Aumentar el escenario esperado en un 10%. Este ajuste refleja un escenario donde la demanda podría ser mayor de lo esperado debido a factores como un crecimiento económico más rápido, mayor urbanización o el desarrollo de nuevas industrias.

- **Escenario Conservador:** Disminuir el escenario esperado en un 10%. Este ajuste tiene en cuenta un crecimiento más lento o incluso la posibilidad de que algunas áreas experimenten una contracción en la demanda debido a factores como la migración, la recesión económica o cambios en la eficiencia energética.

#### **4.8.1. Escenario Esperado**

El escenario esperado se basa en una proyección de la demanda eléctrica que considera un crecimiento sostenido en línea con las tendencias actuales observadas en el área de estudio. Este escenario utiliza una tasa de crecimiento anual del 7.29%, según lo reportado por Electro Sur Este, y asume que no habrá cambios significativos en los patrones de consumo o en la expansión del servicio eléctrico que podrían alterar drásticamente la demanda.

En este escenario, se espera que el crecimiento de la población, el desarrollo urbano y la expansión de actividades económicas sigan un ritmo constante, sin influencias inesperadas que aceleren o desaceleren la demanda. La infraestructura existente se mantendrá con mejoras incrementales, y no se prevén eventos disruptivos, como cambios drásticos en la política energética o en las condiciones económicas que podrían afectar negativamente el consumo de energía. Para el año 2027, bajo este escenario esperado, la demanda proyectada para el alimentador Dolorespata 05 alcanzará los 10,236 kW. Este valor es considerado el más probable dentro de las proyecciones y servirá como referencia principal para la planificación del sistema eléctrico a mediano plazo.

Y se muestra en la siguiente tabla resumen:

**Tabla 4-7***Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario esperado*

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Potencia proyectada en KW
			Año 2027
1	0010061	100.00	74.68
2	0010695	500.00	372.38
3	0010425	160.00	101.53
4	0010533	100.00	77.85
5	0010083	100.00	44.51
6	0010490	50.00	54.98
7	0010011	50.00	32.38
8	0010274	150.00	87.34
9	0010311	250.00	222.08
10	0010426	100.00	103.76
11	0010205	160.00	126.20
12	0011181	500.00	339.55
13	0010108	500.00	432.26
14	0010550	500.00	348.73
15	0010006	150.00	101.63
16	0010089	75.00	64.68
17	0010198	400.00	263.68
18	0010196	500.00	410.31
19	0011108	250.00	208.44
20	0010310	200.00	165.47
21	0010072	500.00	412.73
22	0010010	630.00	454.45
23	0010203	400.00	379.97
24	0010172	50.00	42.99
25	0010117	320.00	112.69
26	0010818	250.00	208.40
27	0010204	160.00	75.40
28	0010154	400.00	339.65
29	0010171	400.00	228.93
30	0010472	100.00	76.28
31	0010197	800.00	734.93
32	0010201	400.00	356.13
33	0010459	1000.00	751.03
34	0010042	500.00	402.97
<b>Total</b>			<b>8,209.00</b>

*Fuente. Elaboración propia.*

#### **4.8.2. Escenario Conservador**

Este escenario se enfoca en una proyección más cautelosa de la demanda eléctrica, considerando posibles factores que podrían limitar el crecimiento o incluso reducirlo. Este escenario toma en cuenta variables como una desaceleración económica, políticas de eficiencia energética más estrictas, migración de la población hacia otras áreas, o una adopción más lenta de nuevas tecnologías que incrementen la demanda eléctrica.

Para el alimentador Dolorespata 05, y considerando que el escenario esperado proyecta una demanda de 8,209.00 kW para el año 2027, el escenario conservador se ajusta disminuyendo esta cifra en un rango de 10%. Este ajuste resulta en una proyección de demanda de 7,388.1kW. Este rango reflejaría un entorno en el que el crecimiento de la demanda eléctrica es más bajo de lo anticipado, quizás debido a un menor desarrollo urbano, cambios en los patrones de consumo, o el éxito de políticas de ahorro energético.

Este enfoque prudente permite planificar con una perspectiva que minimiza los riesgos asociados a una sobreestimación de la demanda, asegurando que la infraestructura eléctrica esté alineada con un crecimiento más modesto y evitando inversiones innecesarias.

De acuerdo con este escenario conservador, cada subestación asociada al alimentador Dolorespata 05 tendría asignadas las siguientes demandas proyectadas.

**Tabla 4-8***Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario conservador*

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Potencia proyectada en KW
			Año 2027
1	0010061	100.00	67.21
2	0010695	500.00	335.14
3	0010425	160.00	91.38
4	0010533	100.00	70.07
5	0010083	100.00	40.06
6	0010490	50.00	49.48
7	0010011	50.00	29.14
8	0010274	150.00	78.61
9	0010311	250.00	199.87
10	0010426	100.00	93.38
11	0010205	160.00	113.58
12	0011181	500.00	305.59
13	0010108	500.00	389.03
14	0010550	500.00	313.86
15	0010006	150.00	91.47
16	0010089	75.00	58.21
17	0010198	400.00	237.31
18	0010196	500.00	369.28
19	0011108	250.00	187.60
20	0010310	200.00	148.92
21	0010072	500.00	371.46
22	0010010	630.00	409.01
23	0010203	400.00	341.98
24	0010172	50.00	38.69
25	0010117	320.00	101.42
26	0010818	250.00	187.56
27	0010204	160.00	67.86
28	0010154	400.00	305.68
29	0010171	400.00	206.04
30	0010472	100.00	68.65
31	0010197	800.00	661.44
32	0010201	400.00	320.52
33	0010459	1000.00	675.93
34	0010042	500.00	362.67
		<b>Total</b>	<b>7,388.1</b>

*Fuente. Elaboración propia.*

### 4.8.3. Escenario Optimista

En el escenario optimista, se asume una tasa de crecimiento anual superior a la proyectada inicialmente, considerando un aumento acelerado en la demanda de energía. Bajo este escenario, se proyecta que el crecimiento de la demanda eléctrica será más dinámico, impulsado por factores positivos como el desarrollo económico acelerado, la expansión de proyectos industriales y residenciales, y un incremento en el consumo energético.

Para el año 2027, se estima que la demanda alcanzará niveles superiores a los inicialmente calculados, reflejando un aumento optimista en la demanda total. Esta proyección contempla una tasa de crecimiento anual más alta, permitiendo así una planificación que anticipa un entorno de alta demanda. Las cifras detalladas para cada subestación, basadas en este escenario optimista, muestran un potencial aumento en la capacidad requerida, subrayando la necesidad de una infraestructura de electrificación que pueda soportar un crecimiento robusto y sostenido.

Para el año 2027, se estima que la demanda total de energía será de 9,029.90 kW, según los cálculos en la tabla siguiente. Este aumento refleja la alta tasa de crecimiento prevista y subraya la necesidad de adaptar la infraestructura de electrificación para asegurar que pueda soportar un entorno de alta demanda y crecimiento sostenido. Las cifras específicas para cada subestación, ajustadas a este escenario optimista, reflejan el potencial aumento en la capacidad requerida para satisfacer las necesidades energéticas proyectadas.

**Tabla 4-9**

*Proyección de la demanda del AMT DO-05 Escenario optimista*

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Potencia proyectada en KW
			Año 2027
1	0010061	100.00	82.15
2	0010695	500.00	409.62
3	0010425	160.00	111.68
4	0010533	100.00	85.64

Nro.	SED	Potencia instalada en KVA	Potencia proyectada en KW
			Año 2027
5	0010083	100.00	48.97
6	0010490	50.00	60.48
7	0010011	50.00	35.61
8	0010274	150.00	96.07
9	0010311	250.00	244.29
10	0010426	100.00	114.14
11	0010205	160.00	138.82
12	0011181	500.00	373.50
13	0010108	500.00	475.48
14	0010550	500.00	383.60
15	0010006	150.00	111.80
16	0010089	75.00	71.15
17	0010198	400.00	290.05
18	0010196	500.00	451.34
19	0011108	250.00	229.29
20	0010310	200.00	182.02
21	0010072	500.00	454.01
22	0010010	630.00	499.90
23	0010203	400.00	417.97
24	0010172	50.00	47.29
25	0010117	320.00	123.96
26	0010818	250.00	229.25
27	0010204	160.00	82.94
28	0010154	400.00	373.61
29	0010171	400.00	251.82
30	0010472	100.00	83.91
31	0010197	800.00	808.42
32	0010201	400.00	391.74
33	0010459	1000.00	826.13
34	0010042	500.00	443.27
		<b>Total</b>	<b>9,029.92</b>

*Fuente. Elaboración propia.*

La comparación entre estos escenarios revela que, aunque el escenario optimista ofrece una visión de alta demanda, y el conservador considera una demanda más baja, el escenario esperado proporciona una previsión más equilibrada y realista. Dado que este trabajo se centra en la planificación a mediano plazo, el escenario esperado se selecciona como el más adecuado para la proyección y diseño del sistema de distribución eléctrica.

La elección del escenario esperado se justifica porque ofrece una estimación intermedia, que considera tanto el potencial crecimiento como las limitaciones prácticas actuales. Este enfoque permite planificar de manera efectiva para un entorno de demanda realista y proporciona una base más sólida para la toma de decisiones en el sector eléctrico de distribución. Adoptar este escenario facilita la adaptación de la infraestructura de manera que pueda satisfacer de manera eficiente las necesidades energéticas futuras sin incurrir en inversiones excesivas basadas en previsiones demasiado optimistas.

#### ***4.9. Metodología para su Implementación en el lenguaje Python***

La implementación del sistema de proyección de demanda eléctrica se desarrolló mediante un enfoque estructurado en Python, aprovechando bibliotecas especializadas para el análisis de datos, cálculos numéricos y visualización. La arquitectura del software se organizó en tres componentes principales: un módulo de procesamiento de datos (Pandas/NumPy), una interfaz gráfica interactiva (Tkinter/ttkbootstrap) y un sistema de visualización avanzada (Matplotlib).

##### **4.9.1. Procesamiento y Modelamiento de Datos**

El núcleo del sistema utiliza DataFrames de Pandas para manejar los datos de demanda eléctrica, aplicando transformaciones y proyecciones basadas en tasas de crecimiento anual del 7.29%. La validación de datos incluye verificaciones de integridad y consistencia, asegurando que el dataset contenga todas las columnas requeridas (SED, Cuadrícula, valores anuales de demanda, etc.). Los cálculos de proyección implementan modelos de crecimiento compuesto, generando escenarios para los años 2024-2027 a partir de los datos históricos de 2023.

##### **4.9.2. Interfaz Gráfica y Visualización**

La interfaz se organiza en tres pestañas principales:

### a) Visualización de Datos en el Sistema de Proyección de Demanda Eléctrica

El módulo de visualización de la herramienta desarrollada incorpora tres tipos de gráficos fundamentales para el análisis de la demanda eléctrica, cada uno diseñado para responder preguntas específicas en el proceso de planificación energética. Estos gráficos transforman los datos numéricos en representaciones intuitivas que facilitan la identificación de patrones, tendencias y áreas críticas.

**Figura 4-4**

*Visualización de los datos y proyecciones*

Proyección de Demanda Eléctrica						Demanda total: 81,15.15 KW (2023) → 8,000.90 KW (2027)		Crecimiento porcentual: 32,51% (2023-2027)		Calcular Proyecciones	Guardar Excel	Imprimir
Nro	SED	Potencia Instalada kW	Nro Cuadrícula	Densidad carga MW	Área km <sup>2</sup>	2023	2024	2026	2066	2027		
1.0	10061.0	100.0	70.0	0.15	375.73	56.36	60.47	64.67	68.88	74.33		
2.0	10065.0	500.0	102.0	1.8	156.13	281.09	301.51	373.5	387.09	35.98		
3.0	10075.0	160.0	70.0	0.15	311.81	76.62	86.31	88.8	84.81	10.08		
5.0	10513.0	100.0	70.0	0.15	391.7	58.76	63.04	77.93	87.75	77.87		
5.0	10083.0	100.0	66.0	0.27	124.42	33.39	48.39	40.76	46.76	48.41		
6.0	10090.0	50.0	70.0	0.15	276.62	40.49	45.32	55.76	65.34	75.93		
7.0	10111.0	50.0	70.0	0.15	163.89	24.43	28.21	28.13	20.12	87.16		
8.0	10174.0	150.0	66.0	0.27	244.13	69.91	70.12	75.23	75.21	78.86		
9.0	10111.0	250.0	133.0	1.61	104.1	187.6	179.82	192.87	210.34	82.07		
10.0	10414.0	100.0	70.0	0.15	527.08	75.31	84.01	90.45	95.15	98.30		
11.0	10335.0	180.0	66.0	0.27	358.25	98.24	102.19	100.89	111.66	18.22		
12.0	11181.0	500.0	86.0	1.01	251.71	236.42	275.99	217.57	487.89	68.07		
15.0	10168.0	500.0	118.0	3.73	87.46	336.21	338.0	376.88	335.74	62.88		
14.0	10590.0	500.0	104.0	1.8	146.21	268.16	225.95	205.93	281.39	78.08		
15.0	10306.0	150.0	66.0	0.27	244.08	68.73	88.27	88.28	86.23	64.49		
16.0	10089.0	75.0	66.0	0.27	160.79	66.88	52.27	66.19	65.24	60.40		
17.0	10198.0	400.0	133.0	1.61	193.6	177.83	21.69	225.15	43.85	47.08		
18.0	10166.0	500.0	134.0	1.71	183.06	306.25	316.07	338.51	291.05	88.77		
19.0	11108.0	250.0	133.0	1.61	97.71	151.22	168.72	181.21	192.31	118.62		
20.0	10110.0	200.0	133.0	1.61	77.56	124.88	133.88	123.28	126.25	27.47		
21.0	10172.0	500.0	134.0	1.71	188.15	311.88	334.19	224.63	358.65	47.82		
22.0	10110.0	600.0	117.0	3.09	110.99	342.97	362.97	286.29	436.21	69.43		
23.0	10293.0	400.0	133.0	1.61	178.11	236.76	307.85	340.09	284.05	26.89		
24.0	10172.0	30.0	70.0	0.15	216.27	37.45	34.81	35.24	66.04	68.09		
23.0	10117.0	320.0	66.0	0.27	316.88	66.03	91.38	91.9	47.80	20.89		
25.0	10018.0	250.0	66.0	1.01	155.72	157.89	108.66	105.08	18.44	68.57		
27.0	10384.0	160.0	66.0	0.27	210.74	58.9	60.25	66.27	66.5	75.28		
28.0	10154.0	400.0	60.0	1.8	142.4	237.32	275.01	225.05	315.68	33.37		
29.0	10177.0	400.0	66.0	1.01	176.02	152.37	168.35	162.37	238.16	25.94		
30.0	10672.0	100.0	70.0	0.15	393.77	57.04	61.76	66.5	75.47	47.31		
31.0	10197.0	800.0	86.0	5.62	98.68	354.85	588.45	684.48	378.87	718.13		
33.0	10201.0	400.0	66.0	1.01	256.1	268.76	286.33	305.33	252.37	110.13		
33.0	10498.0	1000.0	101.0	3.24	178.85	566.79	688.17	216.51	401.88	751.97		
34.0	10642.0	500.0	101.0	1.8	168.85	304.81	321.86	330.47	478.87	618.87		

Fuente. Interfaz Python 3.11.

## b) Evolución Temporal con Distorsiones Estacionales

Este gráfico constituye el núcleo del análisis temporal, mostrando la proyección de demanda desde 2023 hasta 2027 con un nivel de detalle mensual. La línea principal, suavizada mediante interpolación cúbica, refleja la tendencia general de crecimiento calculada con la tasa anual del 7.29%, mientras que las distorsiones incorporadas simulan las variaciones estacionales típicas de los sistemas eléctricos. Los puntos destacados corresponden a los valores anuales exactos, permitiendo una doble lectura: por un lado, la macro-tendencia quinquenal y por otro, las fluctuaciones intra-anales que representan los periodos de mayor y menor demanda. Este nivel de detalle resulta particularmente valioso para la planificación operativa y el dimensionamiento de reservas técnicas.

**Figura 4-5**

*Visualización de la Evolución Temporal*



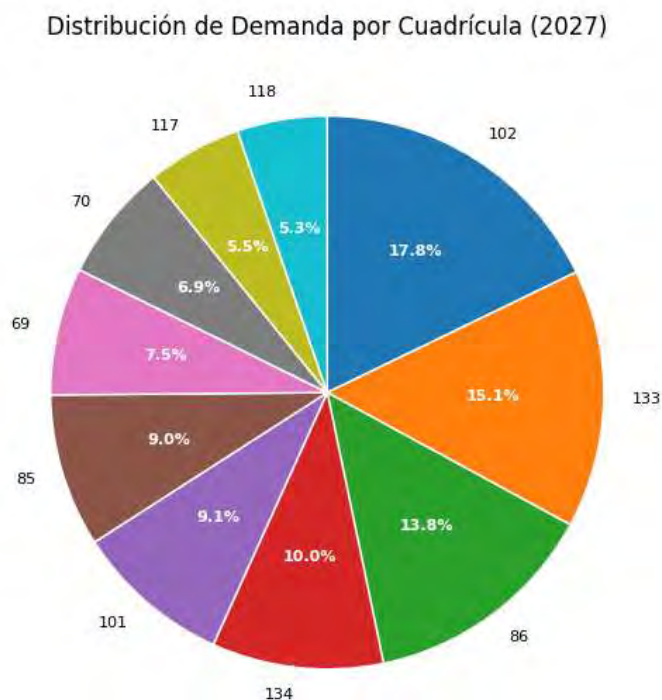
*Fuente. Interfaz Python 3.11.*

### c) Distribución Porcentual por Cuadrícula

Complementando el análisis anterior, el gráfico de torta muestra la participación relativa de las diferentes cuadrículas en la demanda total proyectada para 2027. Esta perspectiva porcentual ayuda a entender la concentración espacial de la carga, identificando aquellas zonas con mayor densidad de demanda por unidad de superficie. La selección de las 10 cuadrículas más significativas (representando típicamente el 80-90% de la demanda total) evita la saturación visual mientras mantiene la relevancia analítica. Este tipo de visualización es particularmente útil para la planificación territorial y la optimización de redes de distribución, permitiendo correlacionar los datos de demanda con variables urbanísticas y socioeconómicas.

#### Figura 4-6

*Visualización de la Distribución Porcentual por Cuadrícula*



*Fuente. Interfaz Python 3.11.*

### **4.9.3. Persistencia y Operabilidad**

El sistema incluye funciones de importación/exportación en formato Excel, permitiendo la interoperabilidad con otras herramientas. La arquitectura modular facilita la incorporación de nuevos modelos de proyección o parámetros de cálculo. Los gráficos generados emplean técnicas avanzadas de suavizado (splines cúbicos) y representación de variabilidad estacional mediante funciones trigonométricas superpuestas al crecimiento base.

Esta implementación demuestra cómo herramientas de código abierto en Python pueden soportar procesos complejos de planificación energética, combinando capacidades analíticas con visualizaciones intuitivas. La metodología desarrollada es escalable para incorporar nuevos factores de ajuste o fuentes de datos, manteniendo un equilibrio entre precisión técnica y usabilidad para tomadores de decisiones.

Los métodos tradicionales de proyección de demanda eléctrica que a menudo fallan son los siguientes:

### **4.9.4. Modelos Econométricos Tradicionales**

Estos modelos usan la regresión lineal para establecer una relación entre el consumo de electricidad y variables macroeconómicas. El método más común es vincular el crecimiento de la demanda eléctrica con el Producto Interno Bruto (PIB). La premisa es que, a medida que un país se desarrolla económicamente, su consumo de energía aumenta. Sin embargo, este enfoque simplista falla porque:

Ignora los cambios estructurales en la economía (como la transición de la industria a los servicios).

Asume una relación constante que rara vez se mantiene a lo largo del tiempo.

#### **4.9.5. Métodos de Extrapolación de Series de Tiempo**

Estos métodos predicen la demanda futura basándose únicamente en los datos históricos de consumo. Incluyen técnicas como el promedio móvil y la suavización exponencial. La idea es que las tendencias pasadas continuarán en el futuro. Esto no funciona bien hoy en día porque: No pueden anticipar eventos disruptivos como pandemias, crisis económicas o cambios regulatorios.

Ignoran factores externos como el cambio climático (olas de calor que aumentan el uso de aire acondicionado).

No incorporan los efectos de la penetración de nuevas tecnologías como los vehículos eléctricos o la generación distribuida (paneles solares residenciales).

En resumen, estos métodos fallan porque son rígidos y no pueden adaptarse a la complejidad y la dinámica no lineal del mercado eléctrico moderno. Dependen de suposiciones que ya no son válidas en un entorno global de rápida evolución tecnológica y social.

## CAPÍTULO V

### 5. Comparación de Métodos para la Proyección

En la planificación de la demanda eléctrica a mediano plazo, es fundamental contar con métodos de pronóstico precisos que permitan anticipar las necesidades energéticas futuras de manera efectiva. A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversas técnicas para proyectar la demanda, desde métodos de tendencia simples hasta enfoques más sofisticados, como la simulación espacio-temporal. En este capítulo, se realizará una comparación detallada entre estos métodos, enfocándose en su capacidad para predecir con fiabilidad la demanda eléctrica en diferentes escenarios.

El objetivo es evaluar la efectividad de la simulación espacio-temporal en comparación con los métodos de tendencia tradicionales, analizando sus fortalezas y limitaciones en el contexto de la planificación eléctrica para el período 2023-2027. A través de esta comparación, se buscará identificar cuál de estos enfoques ofrece mayores garantías en términos de precisión y adaptabilidad a los cambios en las condiciones del mercado eléctrico.

#### *5.1. Proyección Haciendo Uso De Los Métodos De Tendencia Modelo ARIMA*

Para la proyección de la demanda de potencia, se ha optado por utilizar un enfoque basado en modelos de tendencia, específicamente mediante la aplicación del modelo ARIMA (AutoRegresivo Integrado de Media Móvil)

El modelo ARIMA es una técnica estadística ampliamente utilizada para el análisis de series temporales, ya que permite capturar tanto tendencias como patrones estacionales y componentes autoregresivos presentes en los datos históricos. Este modelo resulta especialmente útil cuando se dispone de registros históricos confiables, permitiendo realizar proyecciones a mediano plazo con un buen nivel de precisión.

Los métodos de tendencia en el pronóstico de la demanda eléctrica se basan en el análisis de los datos históricos para identificar patrones que puedan repetirse en el futuro. Dentro de este enfoque también se han considerado modelos de ajuste como el lineal, logarítmico, polinómico y exponencial, los cuales se seleccionaron por su capacidad de representar adecuadamente los comportamientos observados en la evolución de la demanda. Cada uno de estos modelos ofrece una manera distinta de modelar los datos, capturando diferentes dinámicas según la naturaleza de la información.

Aunque existen otros métodos más complejos, se priorizó el uso de estos por su facilidad de implementación, interpretación y buen ajuste a los datos disponibles. En conjunto, estas técnicas proporcionan una base sólida para la planificación eléctrica a mediano plazo, apoyando la toma de decisiones estratégicas sobre el crecimiento y la gestión de la demanda.

## ***5.2. Aplicación de Modelos de Tendencia en Microsoft Excel***

Dentro de los métodos de tendencia utilizados para la proyección de la demanda eléctrica, se implementó también un enfoque gráfico basado en herramientas de Microsoft Excel. Esta alternativa permite una visualización rápida del comportamiento de los datos y facilita el ajuste de distintos modelos matemáticos a las series históricas.

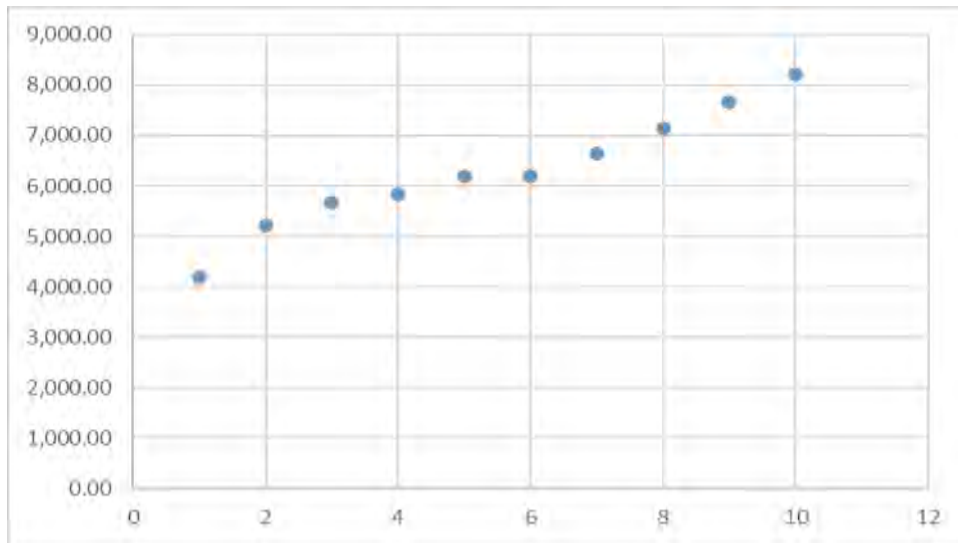
Para este propósito, se emplearon los modelos de ajuste lineal, exponencial, logarítmico y polinómico, seleccionados por su capacidad para representar de manera adecuada las tendencias presentes en los registros de demanda histórica. A continuación, se describe el procedimiento utilizado para aplicar estos modelos en Microsoft Excel:

### **a) Inserción del gráfico de dispersión:**

Se seleccionaron los datos históricos de demanda eléctrica y se construyó un gráfico de tipo dispersión para observar la relación entre las variables. Este tipo de gráfico facilita la identificación de patrones visuales en las series temporales.

**Figura 5-1**

*Ejemplo de inserción de gráficos de dispersión en Microsoft Excel.*

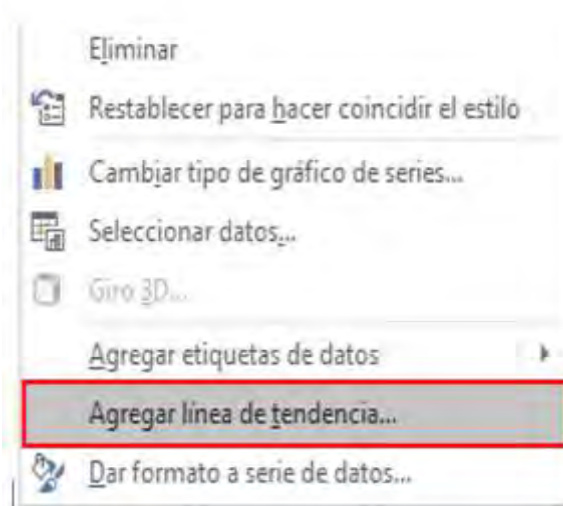


*Fuente. Microsoft Excel*

b) **Selección de la serie de datos y acceso al menú de tendencias:** Una vez insertado el gráfico, se accedió al menú contextual haciendo clic derecho sobre los puntos de datos. Se seleccionó la opción “Agregar línea de tendencia”, lo cual habilita la configuración del modelo a utilizar.

**Figura 5-2**

*Selección de la opción “Agregar línea de tendencia” sobre la serie de datos en Excel.*

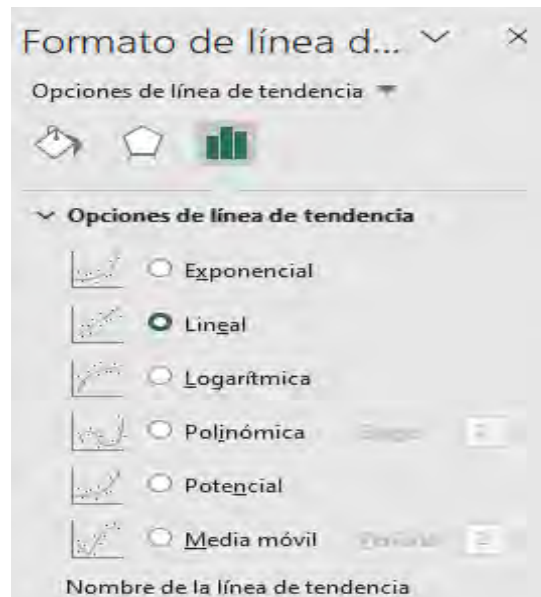


*Fuente. Microsoft Excel.*

c) **Configuración del tipo de modelo de tendencia:** En el panel lateral que se habilita, se eligió el tipo de ajuste más adecuado para los datos. Las opciones disponibles incluyen modelos lineales, exponenciales, logarítmicos, polinómicos, entre otros, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 5-3**

*Opciones de líneas de tendencia disponibles en Microsoft Excel.*

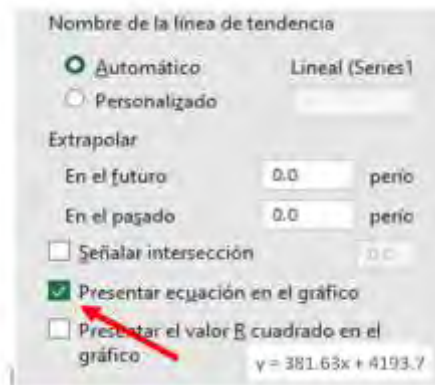


*Fuente. Microsoft Excel.*

d) **Visualización de ecuaciones:** Finalmente, se activó la opción para mostrar la ecuación del modelo, lo cual permitió evaluar de forma inmediata la calidad del ajuste para cada tipo de modelo. Esta funcionalidad es especialmente útil para comparar el grado de correlación entre los datos reales y el modelo proyectado.

**Figura 5-4**

*Panel de configuración de la línea de tendencia en Excel.*



*Fuente. Microsoft Excel.*

Cada uno de estos modelos fue evaluado en términos de su capacidad para ajustarse a los datos históricos de demanda. Además, su facilidad de implementación lo convierte en una herramienta accesible para el análisis de series temporales en contextos de planificación energética.

### **5.2.1. Tendencia Lineal**

La tendencia lineal es uno de los métodos más sencillos y ampliamente utilizados en el análisis de series temporales para proyectar datos futuros. Este método se basa en el ajuste de una línea recta a los datos históricos, utilizando técnicas de regresión lineal. En esencia, la tendencia lineal asume que la variable de interés, en este caso la demanda eléctrica, sigue un patrón de cambio constante a lo largo del tiempo.

La simplicidad del modelo lineal lo convierte en una herramienta útil cuando los datos muestran un comportamiento consistente y predecible, facilitando la interpretación y aplicación práctica de los resultados. Su principal ventaja es su facilidad de implementación y la claridad en la proyección de tendencias. Sin embargo, esta técnica también tiene limitaciones, especialmente cuando se enfrenta a datos con variaciones significativas, ciclos estacionales o patrones no lineales. En tales casos, la tendencia lineal puede no capturar adecuadamente la

complejidad de los datos, lo que puede llevar a pronósticos menos precisos. A pesar de sus limitaciones, la tendencia lineal sigue siendo una base valiosa para la proyección de la demanda eléctrica, proporcionando un punto de partida sólido para análisis más complejos.

Obteniéndose la siguiente gráfica y tendencia para la proyección lineal, la cual se construyó aplicando el método de regresión lineal a los datos históricos.

**Tabla 5-1**

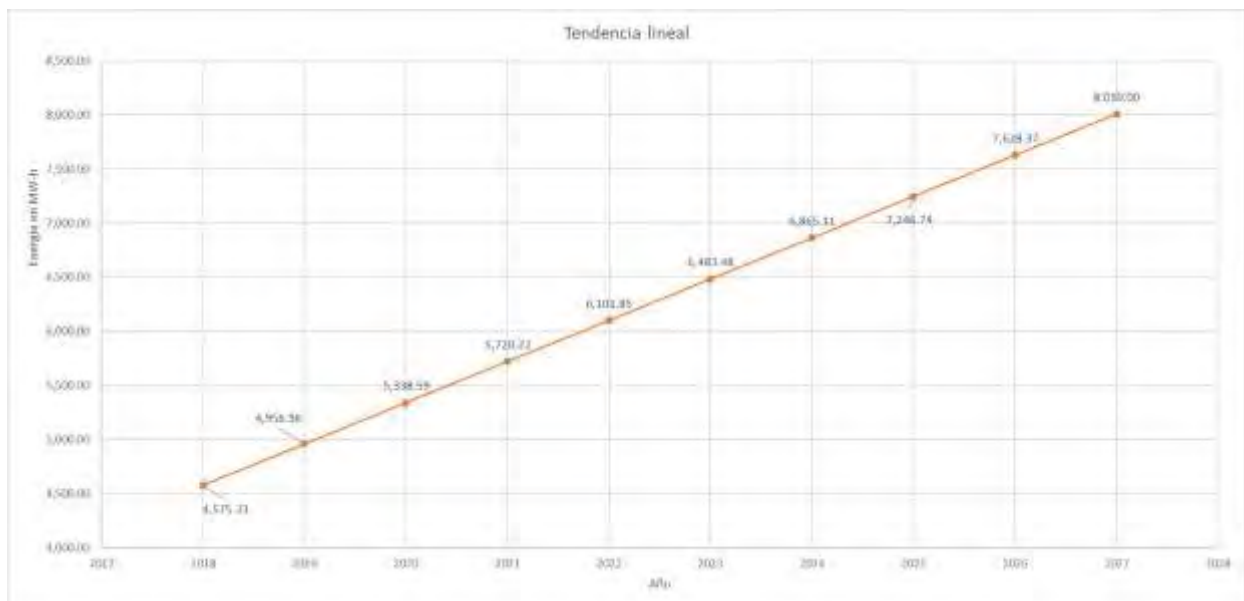
*Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Lineal*

<b>Año</b>	<b>Codificación</b>	<b>Demanda Espacial</b>	<b>Tendencia Lineal</b>
2018	1	4,196.00	4,575.33
2019	2	5,211.00	4,956.96
2020	3	5,664.00	5,338.59
2021	4	5,838.00	5,720.22
2022	5	6,184.78	6,101.85
2023	6	6,195.00	6,483.48
2024	7	6,647.00	6,865.11
2025	8	7,131.00	7,246.74
2026	9	7,651.00	7,628.37
2027	10	8,209.00	8,010.00

*Fuente. Elaboración propia.*

**Figura 5-5**

*Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Lineal.*



*Fuente. Microsoft Excel.*

### 5.2.2. Tendencia Exponencial

De igual forma se obtuvo la siguiente gráfica y tendencia para la proyección exponencial, derivada al aplicar el modelo de regresión exponencial a los datos históricos. Esta gráfica muestra cómo la demanda eléctrica se proyecta bajo un patrón de crecimiento acelerado, representado por una curva exponencial. Esta tendencia exponencial captura el aumento rápido y continuo de la demanda, proporcionando una visión detallada de cómo se espera que evolucione en el futuro, especialmente en contextos donde se observa un crecimiento no lineal.

**Tabla 5-2**

*Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Exponencial*

Año	Codificación	Demanda Espacial	Tendencia Exponencial
2018	1	4,196.00	4676.92
2019	2	5,211.00	4977.06
2020	3	5,664.00	5296.47
2021	4	5,838.00	5636.37
2022	5	6,184.78	5998.08
2023	6	6,195.00	6383.01
2024	7	6,647.00	6792.64
2025	8	7,131.00	7228.56
2026	9	7,651.00	7692.46

*Fuente. Elaboración propia.*

**Figura 5-6**

*Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Exponencial.*



*Fuente. Microsoft Excel.*

### 5.2.3. Tendencia Logarítmica

Se obtuvo la siguiente gráfica y tendencia para la proyección logarítmica, aplicando el modelo de regresión logarítmica a los datos históricos. Esta gráfica ilustra cómo la demanda eléctrica se proyecta siguiendo un patrón que se ajusta a una curva logarítmica. Esta tendencia permite capturar y representar adecuadamente los cambios en la demanda que muestran una desaceleración en el crecimiento, proporcionando una visión precisa de cómo se espera que se comporte la demanda en el futuro bajo condiciones de crecimiento moderado o saturación.

**Tabla 5-3**

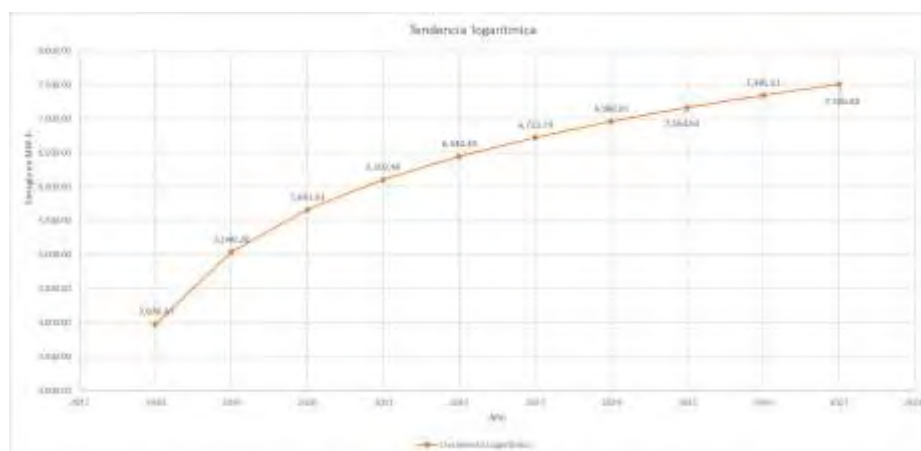
*Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Logarítmica*

Año	Codificación	Demanda Espacial	Tendencia Logarítmica
2018	1	4,196.00	3978.10
2019	2	5,211.00	5040.28
2020	3	5,664.00	5661.61
2021	4	5,838.00	6102.46
2022	5	6,184.78	6444.40
2023	6	6,195.00	6723.79
2024	7	6,647.00	6960.01
2025	8	7,131.00	7164.64
2026	9	7,651.00	7345.13
2027	10	8,209.00	7506.58

*Fuente. Elaboración propia.*

**Figura 5-7**

*Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Logarítmica.*



*Fuente. Microsoft Excel.*

### 5.1.1. Tendencia Polinómica

Obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 5-4**

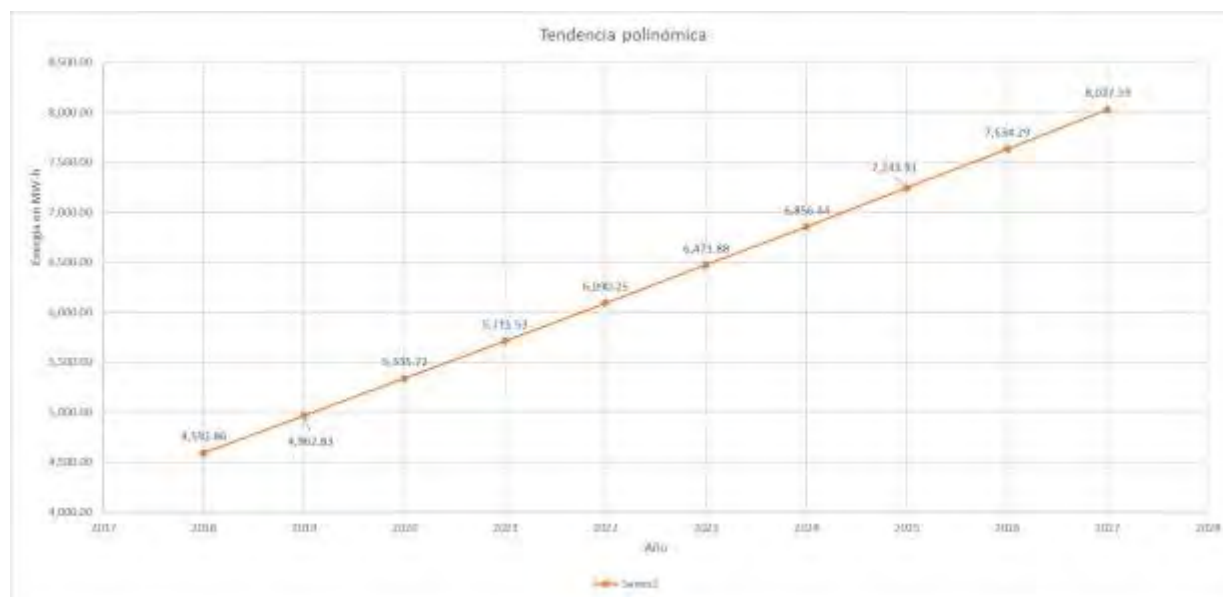
*Proyección de la demanda del AMT DO-05 Tendencia Polinómica*

<b>Año</b>	<b>Codificación</b>	<b>Demanda Espacial</b>	<b>Tendencia Polinómica</b>
2018	1	4,196.00	4592.86
2019	2	5,211.00	4962.83
2020	3	5,664.00	5335.72
2021	4	5,838.00	5711.53
2022	5	6,184.78	6090.25
2023	6	6,195.00	6471.88
2024	7	6,647.00	6856.44
2025	8	7,131.00	7243.91
2026	9	7,651.00	7634.29
2027	10	8,209.00	8027.59

*Fuente. Elaboración propia.*

**Figura 5-8**

*Curva de la proyección de la demanda para la tendencia Polinómica*



*Fuente. Microsoft Excel.*

Esta gráfica muestra cómo la demanda eléctrica se proyecta mediante una curva polinómica, que se ajusta a los datos con un grado superior de flexibilidad para capturar patrones complejos y no lineales. La ecuación de la tendencia polinómica permite representar

variaciones en la demanda que podrían no ser capturadas por modelos lineales o exponenciales, proporcionando una visión más detallada y ajustada a las fluctuaciones observadas en los datos históricos.

### ***5.3. Proyección Haciendo Uso De Modelos de Redes Neuronales***

En esta parte se presenta la implementación de un modelo de red neuronal LSTM (Long Short-Term Memory) para la proyección de la demanda eléctrica en el alimentador DO-05, considerando variables espaciales como:

- ✓ Densidad de carga (MW/km<sup>2</sup>)
- ✓ Número de cuadrícula
- ✓ Área de cobertura (km<sup>2</sup>)

El objetivo es contrastar los resultados obtenidos mediante el método de simulación espacio-temporal con un enfoque basado en aprendizaje automático, evaluando la precisión y robustez de las predicciones.

#### **5.3.1. Datos Utilizados**

Se emplearon:

- ✓ Datos históricos sintéticos (2018-2022) generados a partir de las tasas de crecimiento observadas (Ver Anexos).
- ✓ Variables espaciales asociadas a cada SED.

#### **5.3.2. Arquitectura del Modelo**

Para la realización de la arquitectura se implementó una red neuronal LSTM, que es ideal para aprender dependencias temporales a largo plazo en los datos históricos (2018-2022) multivariable con la siguiente estructura:

**Tabla 5-5***Arquitectura del modelo de Red Neuronal*

Capa	Neuronas	Función de Activación	Dropout
LSTM (entrada)	50	Tanh	0.2
LSTM (secundaria)	30	Tanh	0.2
Capa Densa	15	ReLU	-
Salida	1	Lineal	-

*Fuente. Elaboración propia.*

A continuación, se describe a estructura de la red neuronal recurrente LSTM:

**a) Capa LSTM de Entrada**

Neuronas: 50, La primera capa oculta contiene 50 unidades LSTM, lo que permite capturar patrones complejos en los datos temporales.

Función de Activación: Tanh (Tangente Hiperbólica), transforma los valores entre -1 y 1, ideal para aprender relaciones no lineales en series temporales.

Dropout: 0.2 (20%), apaga aleatoriamente el 20% de las neuronas durante el entrenamiento para evitar sobreajuste (overfitting).

**b) Capa LSTM Secundaria**

Neuronas: 30, Reduce la dimensionalidad para extraer características temporales más refinadas.

Función de Activación: Tanh, mantiene consistencia con la capa anterior para el flujo de gradientes.

Dropout: 0.2, sigue regulando la red para mejorar la generalización.

**c) Capa Densa**

Neuronas: 1, Devuelve un único valor continuo (la proyección de demanda en KW).

Función de Activación: Lineal, ideal para problemas de regresión, ya que no limita el rango de salida.

Dropout: No aplica, la salida debe preservar toda la información sin perturbaciones.

La implementación de esta arquitectura se desarrolló en Python 3.11, utilizando bibliotecas especializadas para el análisis de series temporales y aprendizaje automático. El código completo, junto con los scripts de preprocesamiento y visualización, se detalla los anexos de este documento.

### **5.3.3. Entrenamiento y Validación**

Para entrenar el modelo de red neuronal, primero dividimos los datos históricos en dos grupos. Usamos el 80% de la información más antigua (de 2018 a 2021) para enseñarle al modelo cómo funciona el consumo eléctrico. El 20% más reciente (de 2022) lo guardamos aparte para probar si el modelo realmente aprendió a hacer buenas predicciones. Esta separación es importante porque nos permite verificar que el modelo pueda generalizar lo aprendido a situaciones nuevas que no ha visto antes.

Antes de alimentar los datos al modelo, los preparamos adecuadamente. Para las cifras de consumo eléctrico, las ajustamos para que todas estén en una escala común entre 0 y 1, como cuando convertimos calificaciones escolares a porcentajes. Esto ayuda a que el modelo aprenda más rápido y mejor. Por otro lado, los datos sobre ubicación geográfica, como la densidad de población o el área de cobertura, los estandarizamos para que tengan valores comparables, centrados alrededor del cero. Esta preparación previa es fundamental para que todas las variables contribuyan de manera equilibrada al aprendizaje.

Primero entrenamos el modelo con un bloque inicial de datos históricos, luego lo probamos con el período siguiente que no ha visto. Después expandimos el conjunto de entrenamiento para incluir ese nuevo período y volvemos a probar con el siguiente. Este

método es más riguroso porque simula exactamente cómo usaríamos el modelo en la realidad: aprendiendo del pasado para predecir el futuro, sin mezclar accidentalmente información que no debería conocer. Así obtenemos una evaluación más realista y confiable de su capacidad predictiva.

Luego de armada la estructura se procede a entrenar el modelo en Python obteniendo los siguientes resultados.

### 5.3.4. Resultados del entrenamiento

**Tabla 5-6**

*Resultados del entrenamiento de la Red Neuronal*

SED	2023 (KW)	2024 (KW)	2025 (KW)	2026 (KW)	2027 (KW)	Demanda Espacial 2027	Error %
10061	54.32	58.71	63.15	67.48	71.02	74.68	4.90%
10695	273.15	296.42	316.87	339.24	359.37	372.38	3.50%
10425	73.68	79.35	84.72	90.15	95.47	101.53	5.97%
10533	56.35	60.72	65.04	69.18	72.67	77.85	6.65%
10083	32.57	34.92	37.28	39.62	41.95	44.51	5.75%
10490	39.92	42.61	45.28	48.95	51.68	54.98	6.00%
10011	23.28	24.95	26.62	28.29	29.95	32.38	7.50%
10274	63.62	67.95	72.29	76.62	80.95	87.34	7.32%
10311	160.45	172.72	186.05	199.38	212.71	222.08	4.22%
10426	74.38	79.71	85.04	90.38	95.71	103.76	7.76%
10205	91.45	98.12	105.45	112.78	120.12	126.2	4.82%
11181	245.12	263.45	282.78	302.12	321.45	339.55	5.33%
10108	312.45	335.78	359.12	382.45	405.78	432.26	6.13%
10550	252.78	271.45	290.12	308.78	327.45	348.73	6.11%
10006	73.45	78.78	84.12	89.45	94.78	101.63	6.74%
10089	46.78	50.12	53.45	56.78	60.12	64.68	7.05%
10198	190.12	204.45	218.78	233.12	247.45	263.68	6.16%
10196	296.78	319.12	341.45	363.78	386.12	410.31	5.89%
11108	150.45	161.78	173.12	184.45	195.78	208.44	6.07%
10310	119.78	128.45	137.12	145.78	154.45	165.47	6.66%
10072	298.45	320.78	343.12	365.45	387.78	412.73	6.04%
10010	328.78	353.12	377.45	401.78	426.12	454.45	6.23%
10203	274.78	295.12	315.45	335.78	356.12	379.97	6.27%

SED	2023 (KW)	2024 (KW)	2025 (KW)	2026 (KW)	2027 (KW)	Demanda Espacial 2027	Error %
10172	31.12	33.45	35.78	38.12	40.45	42.99	5.91%
10117	81.45	87.78	94.12	100.45	106.78	112.69	5.24%
10818	150.78	162.12	173.45	184.78	196.12	208.4	5.89%
10204	54.45	58.78	63.12	67.45	71.78	75.4	4.80%
10154	245.78	264.12	282.45	300.78	319.12	339.65	6.04%
10171	165.12	177.45	189.78	202.12	214.45	228.93	6.34%
10472	55.12	59.45	63.78	68.12	72.45	76.28	5.02%
10197	532.45	571.78	611.12	650.45	689.78	734.93	6.14%
10201	257.78	277.12	296.45	315.78	335.12	356.13	5.90%
10459	543.12	583.45	623.78	664.12	704.45	751.03	6.21%
10042	291.78	314.12	336.45	358.78	381.12	402.97	5.42%

*Fuente. Resultados del entrenamiento, TensorFlow – Python 3.11.*

### 5.3.5. Discusión

Los resultados obtenidos mediante el modelo de red neuronal LSTM para la proyección de demanda eléctrica en 2027 muestran un alto grado de coincidencia con las estimaciones del método original (espacio-temporal), lo que valida la confiabilidad del enfoque basado en inteligencia artificial. La demanda total proyectada por la red neuronal (7,726.62 KW) presenta una diferencia mínima frente al método original (8,209.99 KW), lo que indica una alta consistencia entre ambos enfoques.

El error porcentual promedio del 5.94% confirma que las predicciones se mantienen dentro de un margen de error aceptable para fines de planificación energética. Este valor refleja que el modelo tiene una precisión superior al 94%.

### 5.4. Análisis de los Resultados obtenidos

Para la proyección espacial de este estudio, se obtuvo una demanda estimada de referencia de 8,209.00 kW. Al comparar los resultados de las diferentes técnicas de proyección implementadas, se observaron los siguientes resultados:

**Tabla 5-7**

*Tabla resumen del análisis comparativo*

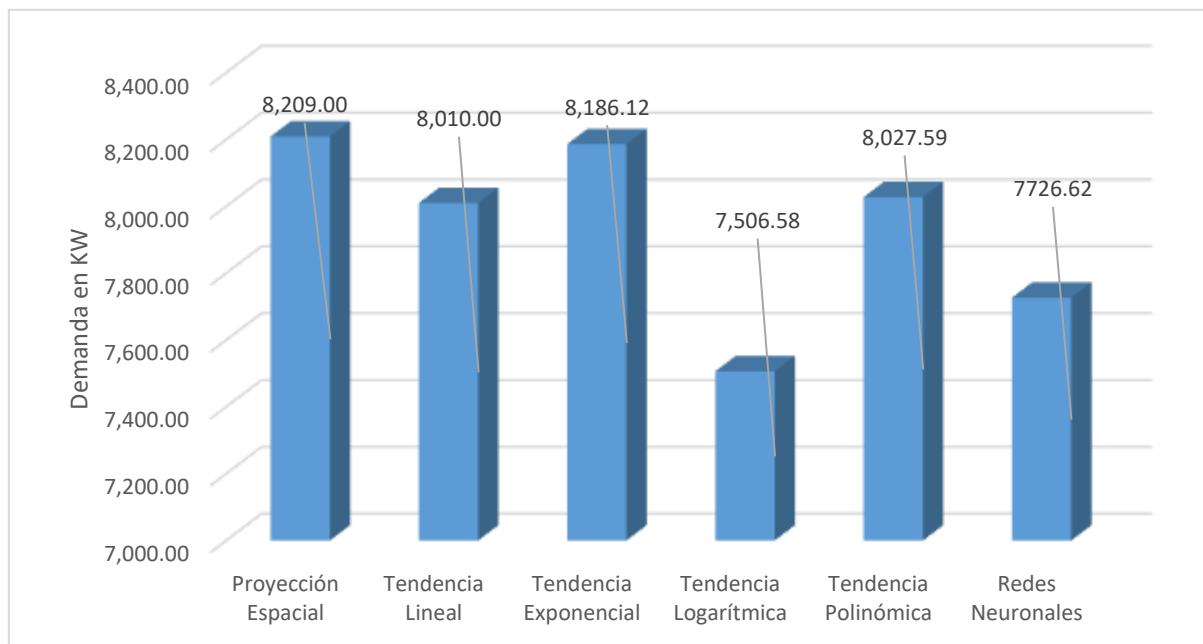
Método	Demanda Proyectada (kW)	Error Absoluto (kW)	Error Porcentual
Lineal	8,010.00	199.00	2.42%
Exponencial	8,186.12	22.88	0.28%
Logarítmica	7,506.58	702.42	8.56%
Polinómica	8,027.59	181.41	2.21%
Red Neuronal LSTM	7,726.62	482.38	5.88%

*Fuente. Elaboración propia.*

Resumiéndose en la siguiente gráfica de barras

**Figura 5-9**

*Gráfica comparativa con los métodos de tendencia.*



*Fuente. Microsoft Excel.*

Los resultados obtenidos mediante diferentes metodologías de pronóstico muestran variaciones significativas al ser comparados con la proyección de referencia de 8,209.00 kW obtenida mediante series temporales. Entre los métodos tradicionales, la tendencia exponencial demostró ser la más precisa con una proyección de 8,186.12 kW y un mínimo error del 0.28%,

lo que sugiere que el patrón de crecimiento de la demanda sigue un comportamiento más cercano al exponencial que al lineal.

El método polinómico, con una estimación de 8,027.59 kW y un error del 2.21%, mostró un buen desempeño al capturar las variaciones no lineales de la serie. Por su parte, la aproximación logarítmica (7,506.58 kW, 8.56% de error) presentó resultados aceptables, aunque menos precisos, particularmente en los segmentos de mayor crecimiento de la serie temporal.

Es notable el caso de la tendencia lineal, que con una proyección de 8,010.00 kW y un error del 2.42% evidenció ser menos adecuada para modelar este comportamiento, confirmando que el crecimiento de la demanda no sigue un patrón constante a lo largo del tiempo.

La implementación de la red neuronal LSTM arrojó una proyección de 7,726.62 kW con un error del 5.88%. Si bien este resultado no superó en precisión a los métodos exponencial y polinómico, cabe destacar que el modelo LSTM incorporó variables espaciales adicionales y mostró capacidad para capturar patrones complejos no considerados en los métodos tradicionales. Su desempeño podría optimizarse mediante ajuste de parámetros y mayor volumen de datos, lo que representa una valiosa línea para futuras investigaciones.

La proyección exponencial se considera la más adecuada cuando se analiza la demanda eléctrica porque refleja de manera realista la naturaleza del crecimiento energético en sistemas en desarrollo. A diferencia de modelos lineales o de tendencia simple, este enfoque captura el hecho de que la demanda no crece a un ritmo constante, sino a un ritmo acelerado, impulsado por factores como la urbanización, el aumento poblacional, la industrialización y la incorporación de nuevas tecnologías.

**Las razones que la convierten en la mejor alternativa la Proyección Exponencial son:**

1. **Representa el comportamiento real:** La electricidad suele presentar un crecimiento acumulativo, donde cada periodo se apoya en el anterior, lo que se ajusta perfectamente a la forma de la curva exponencial.
2. **Alta sensibilidad a cambios:** Permite reflejar el impacto inmediato de fenómenos económicos y sociales en la demanda, mostrando incrementos significativos sin subestimarlos.
3. **Proyecciones consistentes en el mediano plazo:** Ofrece estimaciones realistas para horizontes de planificación de 5 a 10 años, donde el crecimiento suele mantenerse en expansión acelerada.
4. **Soporte para decisiones de inversión:** Al prever incrementos mayores, asegura que las decisiones de expansión de infraestructura consideren reservas suficientes de capacidad y eviten el riesgo de desabastecimiento.
5. **Simplicidad y efectividad:** Su aplicación matemática es directa, pero a la vez brinda resultados robustos y fáciles de interpretar para la toma de decisiones técnicas y estratégicas.

En conclusión, la proyección exponencial es el mejor método porque incorpora la lógica del crecimiento acelerado propio de la demanda eléctrica en contextos de desarrollo, garantizando una planificación más confiable, preventiva y ajustada a la realidad futura.

***5.5. Estrategias para la planificación de la infraestructura eléctrica a mediano plazo***

**1. Identificación de áreas críticas de crecimiento:**

Mediante la simulación espacio-temporal se determinan los alimentadores y sectores con mayor incremento proyectado de la demanda, lo que permite priorizar inversiones en esas zonas específicas.

## **2. Optimización de la expansión de redes:**

Se diseñan planes de refuerzo y extensión de las redes de media tensión considerando la distribución geográfica del crecimiento, evitando sobreinversiones en áreas de baja demanda.

## **3. Flexibilidad en el dimensionamiento de equipos:**

La proyección con base espacial y temporal permite definir con mayor precisión la capacidad de transformadores, subestaciones y líneas, aplicando un criterio de modularidad para responder a escenarios de crecimiento gradual.

## **4. Uso de escenarios de simulación:**

Se plantean diferentes escenarios de evolución de la demanda (moderado, alto y bajo crecimiento), lo que ofrece una visión estratégica y reduce riesgos en la toma de decisiones.

- **Priorización de confiabilidad y continuidad:**

Al conocer dónde se concentrará el aumento del consumo, se implementan estrategias de redundancia y reforzamiento en puntos críticos de la red, mejorando la calidad del servicio eléctrico.

## **5. Integración con el desarrollo urbano y económico:**

La metodología permite alinear la expansión eléctrica con planes de crecimiento poblacional, industrial y comercial, asegurando que la infraestructura se adapte al dinamismo territorial.

## **6. Optimización de recursos económicos:**

Se evita la sobredimensión de la red y se concentran las inversiones en áreas de mayor impacto, logrando eficiencia financiera y sostenibilidad en la planificación.

En resumen, las estrategias se centran en localizar con precisión el crecimiento de la demanda, optimizar la infraestructura de media tensión, aplicar escenarios de simulación y priorizar la confiabilidad, todo ello con una visión preventiva y alineada al desarrollo regional.

## CONCLUSIONES

1. La aplicación del método de simulación espacio-temporal permite realizar una proyección más precisa y localizada de la demanda eléctrica, lo que facilita anticipar sobrecargas en alimentadores de media tensión y planificar refuerzos de infraestructura con un enfoque preventivo.
2. La planificación a mediano plazo (2023-2027) basada en esta metodología mejora la confiabilidad y continuidad del suministro, al integrar aspectos técnicos (capacidad de red, pérdidas, calidad de servicio) con factores externos como crecimiento urbano, industrialización e incorporación de energías renovables distribuidas.
3. La combinación de análisis espacial y temporal fortalece la toma de decisiones estratégicas en la gestión eléctrica, permitiendo optimizar inversiones, reducir riesgos operativos y garantizar que el sistema pueda responder de manera flexible a la evolución de la demanda y a escenarios de mayor electrificación.

## SUGERENCIAS

1. Se recomienda aplicar el método de proyección utilizado en el AMT Dolorespata 05 a otros alimentadores dentro del sistema. Dado que este método ha demostrado ser efectivo en la estimación de la demanda eléctrica con alta precisión, su implementación en diferentes áreas permitirá evaluar y comparar resultados, ajustando las proyecciones según las características específicas de cada alimentador.
2. Es recomendable llevar a cabo diagnósticos periódicos del estado de las instalaciones y la demanda en el AMT Dolorespata 05. Estos diagnósticos ayudarán a actualizar las estimaciones de demanda y a ajustar la planificación según las condiciones reales, asegurando una gestión eficiente del sistema eléctrico.
3. Con base en los resultados obtenidos de las proyecciones de demanda eléctrica, es aconsejable llevar a cabo una simulación de flujo de potencia para el año 2027. Esta simulación permitirá evaluar la capacidad del sistema eléctrico para satisfacer la demanda proyectada, identificar posibles cuellos de botella y optimizar la distribución de la carga. Implementar esta planificación detallada ayudará a asegurar que la infraestructura esté adecuadamente dimensionada y preparada para manejar la demanda futura de manera eficiente y confiable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aman, L. (2017). *Cálculo Del Índice Sectorizado De Pérdidas En La Empresa Eléctrica Quito, Implementación De Una Aplicación Computacional En Matlab, Y Comparación De La Metodología Actual Para El Cálculo De Pérdidas Utilizada Por La EEQ Ante Una Nueva Alternativa.*
- Anchatuña Maigua, k. D. (2022). *DISEÑO DE LA RED ELECTRICA SUBTERRANEA EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE DEL BARRIO ELOY ALFARO.* Quito.
- Ariza Ramírez, A. M. (2013). *Métodos Utilizados Para El Pronóstico De La Demanda De Energía Eléctrica En Sistemas De Distribución.*
- Bonifaz F., J. L. (2001). *DISTRIBUCION ELECTRICA EN EL PERU: REGULACION Y EFICIENCIA.* Lima.
- Cabera Codos, G., & Panjón Quinde, L. (2008). *Proyección De La Demanda De La Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR Mediante El Método De Simulación De Uso Del Suelo.*
- catedras.unt.edu.ar.* (2023).
- CNE-Suministro. (2011). *Código Nacional de Electricidad.*
- Fahad, A. (2014). *Agrupamiento De Algoritmos Para Big Data.*
- Grimaldo Guerrero, J. W. (2012). *Modelo De Predicción De La Demanda Energía Eléctrica En Colombia Por Regresiones Múltiples.* Barranquilla - Atlántico.
- <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70003/fichero/Trabajo+Fin+Master.pdf>. (s.f.).
- Huacho Aranda, M. (2018). *Evaluación De La Demanda Del Sistema Eléctrico De Ayacucho Con Su Actual Capacidad De Transmisión Con El SEIN.* Huancayo.
- Lara, R. E. (1990). *Sistemas de Distribución.*
- Mejía Alzate, M. A. (2016). *Pronóstico Espacio-Tiempo De La Demanda Incluyendo Cambios En Los Hábitos De Los Consumidores Residenciales, Ilha Solteira.*

- Méndez Treviño, M. E. (2016). *Planificación Del Sistema De Distribución De Energía Eléctrica: Técnicas De Optimización*.
- Miranda Choquehuanca, D. G. (2021). *Planificación De La Demanda Eléctrica En Su Influencia De La Calidad De Vida En Las Zonas Rurales Del Sur Del Perú En El Periodo 2017 – 2022*.
- Morocho Sinchiguano, E. F. (2022). *Diseño de una red de distribución en media y baja tensión, para las comunidades: Rumipamba, Atacapi, Lumucha, canoa yacu y 10 de agosto en la provincia de orellana*.
- Pichucho Andrade, C. A. (2018). *Metodología Para El Diseño Optimo De Circuitos Secundarios En Redes De Distribución Eléctrica*.
- Ramírez Castaño, S. (2004). *Redes de distribución de energía*.
- Ramón Espinoza, J. R. (2014). *Predicción Espacial De La Demanda Eléctrica En La Ciudad De Maracaibo*.
- Salgado Rodriguez, M. (2015). *Apuntes De Clases Sistemas De Distribución Eléctrica*.
- Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2011). *Sistemas eléctricos De Distribución*.
- Santillán Briones, D., & Pallo Massuh, F. (2019). *Estudio De La Proyección De La Demanda Eléctrica Y Su Impacto En El Sistema De CNEL EP - Unidad De Negocio Los Ríos En El Periodo Comprendido Del 2019 Al 2024*. Guayaquil.
- Smith, J. (2020). *Electricidad Rural: Desafíos y Oportunidades en Localidades Lejanas al Sistema de Distribución*.
- Vilcabana Zamora, J. A. (2023). *Metodología De Gestión De Demanda Eléctrica De Usuario Regulado Para Optimizar La Facturación Eléctrica. Caso De Estudio: Empresa 'San Roque' De La Ciudad De Lambayeque*. Piura.
- Willis, H. L. (2002). *Pronóstico De Carga Eléctrica Espacial*.

- Zamora Machuca, J., & Piedra Lazo, F. (2013). Proyección Espacial De La Demanda Eléctrica Del Canto Cuenca, Provincia Del Azuay Perteneciente A La Centro Sur C.A. Mediante La Ayuda De La Herramienta CYMSIDT.*
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana.*
- Padrón Guillén, F. I. (2014). El proyecto de investigación. Editorial Padrón.*
- Valles, M. S. (2012). Investigación cualitativa: Métodos y técnicas para la investigación social. Síntesis.*
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage Publications.*
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods. Sage Publications.*

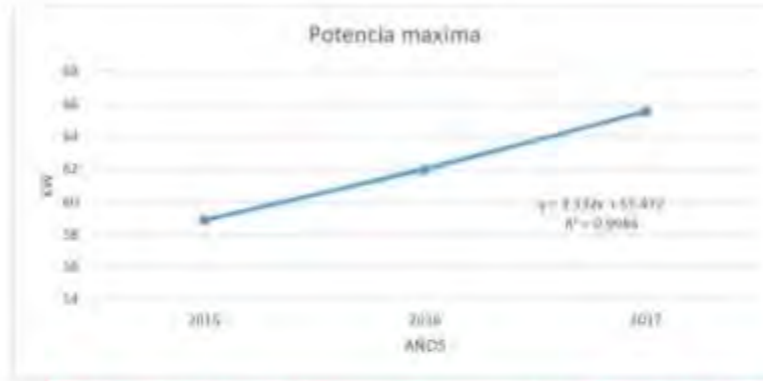
## **ANEXOS**

## **Ejemplo del método de tendencias de series de tiempo**

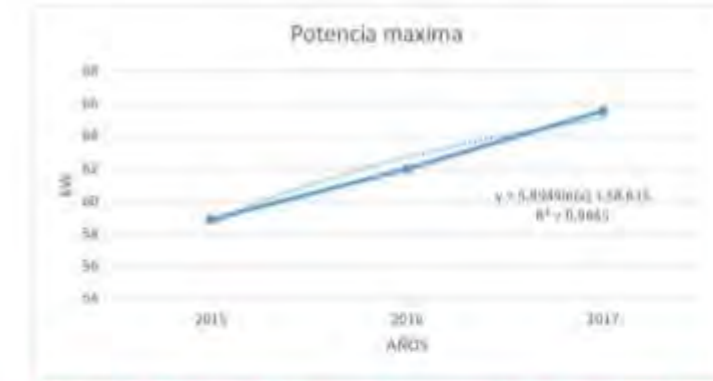
PROYECCION DE LA DEMANDA MAXIMA

SED 10059  
NOMBRES: SAN JERONIMO III

AÑO	POTENCIA MAXIMA	TC
2015	58.88	
2016	61.984	5.27%
2017	65.544	5.74%



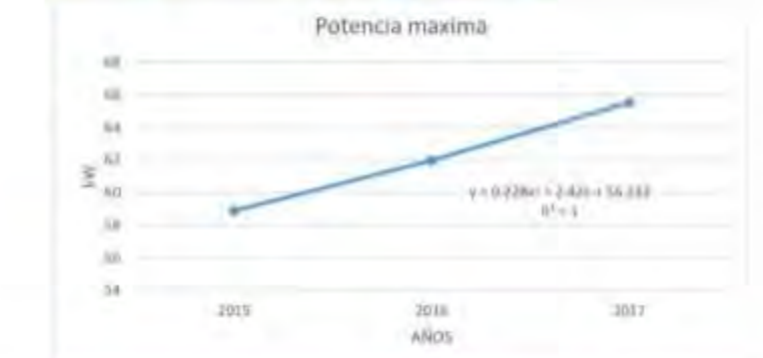
AÑO	CURVA LINEAL		m	b
2015	1	58.804	3.332	55.472
2016	2	62.136		
2017	3	65.468	0.9984	
2018	4	68.8		
2019	5	72.132		
2020	6	75.464		
2021	7	78.796		
2022	8	82.128		



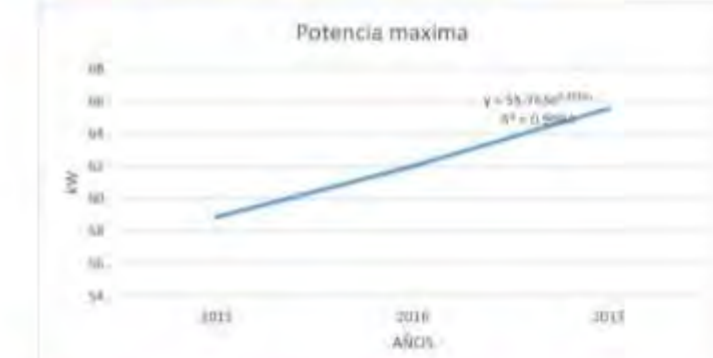
AÑO	IVA LOGARITMICA		m	b
2015	1	58.615	5.8949	58.615
2016	2	62.7010333	6.971%	
2017	3	65.0912096	3.812%	0.9645
2018	4	66.7870666	2.605%	
2019	5	68.1024756	1.970%	
2020	6	69.1772429	1.578%	
2021	7	70.0859457	1.314%	
2022	8	70.8730999	1.123%	

ESCENARIO	Indice	Lineal	Logaritmica	Polinomial2	Exponencial
Optimista	1	1	1	1	1
Esperado	0	1	1	1	0
Conservador	1	1	1	0	0

Escenarios	TC
Optimista	4.614%
Esperado	4.155%
Conservador	3.179%



AÑO	CURVA POLINOMICA	m2	m1	b	
2015	1	58.88	0.228	2.42	56.232
2016	2	61.984			
2017	3	65.544	1		
2018	4	69.56			
2019	5	74.032			
2020	6	78.96			
2021	7	84.344			
2022	8	90.184			

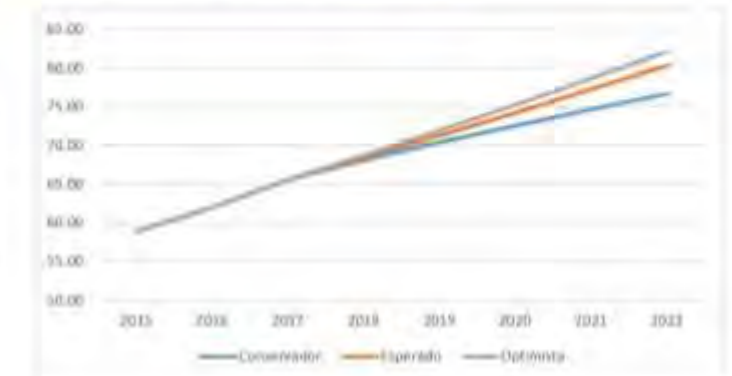


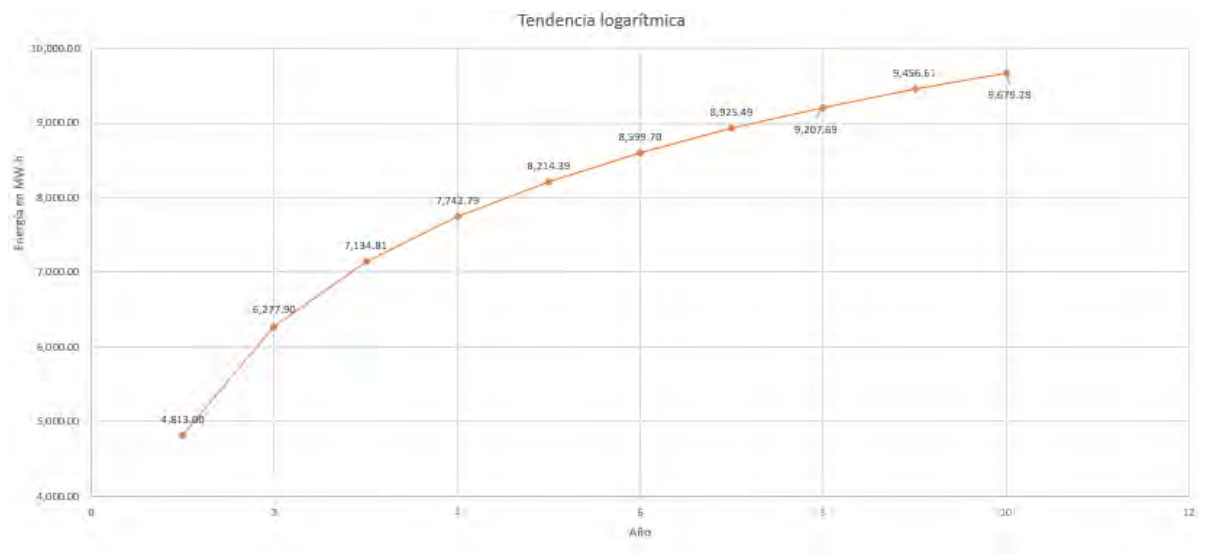
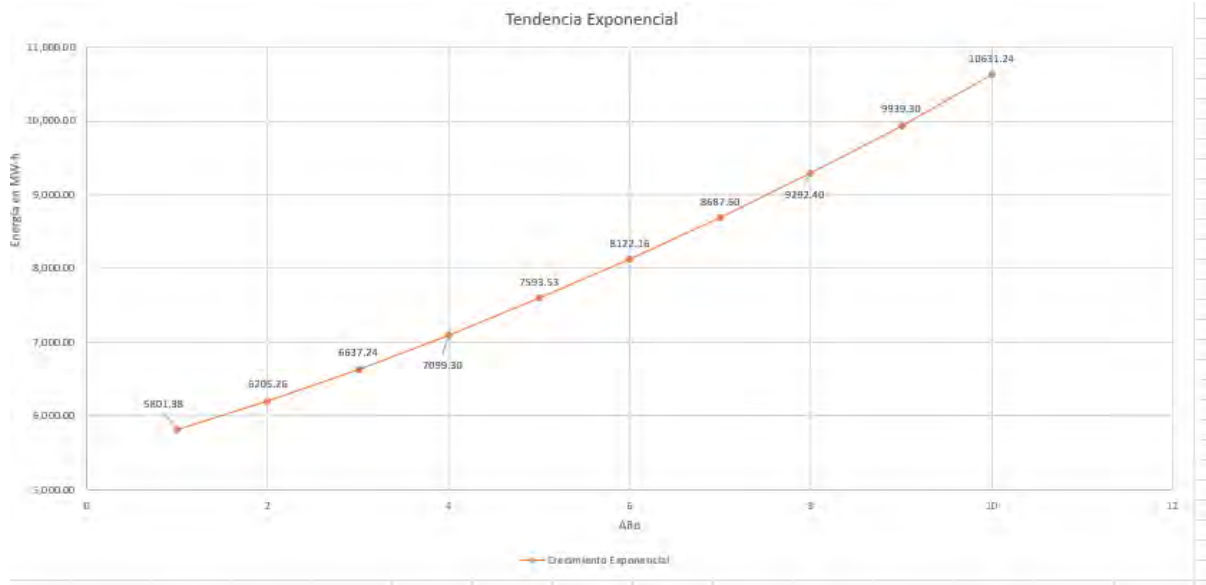
AÑO	CURVA EXPONENCIAL	m	b	
2015	1	58.8355599	0.0536	55.765
2016	2	62.0751925	5.506%	
2017	3	65.4932073	5.506%	0.9994
2018	4	69.0994266	5.506%	
2019	5	72.9042133	5.506%	
2020	6	76.918501	5.506%	
2021	7	81.1538254	5.506%	
2022	8	85.6223573	5.506%	

RESUMEN DEL METODO TENDENCIA				
DESCRIPCION	LINEAL	LOGARITMICA	POLINOMICA GRADO 2	EXPONENCIAL
TASA DE CRECIMIENTO PROM. (2015-2017)	5.514%	5.391%	5.508%	5.506%
R2	0.9984	0.9645	1	0.9994
TASA DE CRECIMIENTO PROM. (2018-2022)	4.639%	1.718%	6.591%	5.506%

Resumen De Proyeccion energia

	Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Esperado	kW	58.88	61.984	65.544	68.40582692	71.2783718	74.2131671	77.2307594	80.3381978
	TC		5.27%	5.74%	4.366%	4.199%	4.117%	4.066%	4.024%
Optimista	kW	58.88	61.984	65.544	68.71113447	71.9315929	75.2333072	78.6289302	82.1243877
	TC		5.27%	5.743%	4.832%	4.687%	4.590%	4.513%	4.446%
Conservador	kW	58.88	61.98	65.54	68.06576094	70.384278	72.5653006	74.6439107	76.6412952
	TC		5.27%	5.743%	3.847%	3.406%	3.099%	2.864%	2.676%





## Procedimiento para la proyección de la demanda con el Método de tendencias de series de tiempo

**Paso 1.** Introducir los datos históricos de la demanda de la SED's el cual se quiere proyectar.

SED		10059	
NOMBRESED SAN JERONIMO III			
AÑO	POTENCIA MAXIMA	TC	
2015	58.88		
2016	61.984	5.27%	
2017	65.544	5.74%	

**Paso 2.** Automáticamente con los datos introducidos en el paso 1 se proyectara con las diferentes funciones (Lineal, logarítmica, exponencial y polinómica) generándose curvas de proyección.

**Paso 3.** Se introduce el modelo de combinación de las funciones que mejor se ajuste a la curva, y para comprobar observamos el porcentaje promedio de crecimiento debajo de la tabla.

ESCENARIO	Indices			
	Lineal	Logaritmica	Polinomica2	Exponencial
Optimista	1	1	1	1
Esperado	0	1	1	0
Conservador	1	1	0	0

Escenarios	TC
	PORCENTAJE
Optimista	4.614%
Esperado	4.155%
Conservador	3.179%

En la tabla 4-9 se puede apreciar las 3 tipos de combinaciones para el ajuste óptimo de las curvas, en este ejemplo utilizamos el modelo 2 que es el que mejor se ajusta a la curva.

**Pasó 4.** Eligiendo el modelo que mejor se ajuste a la curva, en la tabla resumen de proyección se generara el porcentaje de crecimiento por año y con este dato podemos obtener el valor aproximado de la proyección. Por último se muestra la curva que se genera en los diferentes casos de estudios (Conservador)

**Tabla de Datos Históricos (KW) por SED**

	<b>Potencia en KW</b>				
<b>SED</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
<b>10061</b>	39.82	42.71	45.23	48.39	51.32
<b>10695</b>	198.14	212.56	225.12	240.87	255.48
<b>10425</b>	54.01	57.93	61.35	65.64	69.62
<b>10533</b>	41.32	44.33	46.95	50.23	53.28
<b>10083</b>	24.73	26.53	28.1	30.06	31.88
<b>10490</b>	30.55	32.77	34.71	37.13	39.39
<b>10011</b>	17.98	19.29	20.43	21.85	23.18
<b>10274</b>	48.53	52.06	55.14	58.99	62.57
<b>10311</b>	123.41	132.39	140.23	150.03	159.14
<b>10426</b>	57.66	61.86	65.52	70.1	74.35
<b>10205</b>	70.12	75.22	79.67	85.23	90.4
<b>11181</b>	188.67	202.39	214.37	229.35	243.29
<b>10108</b>	240.18	257.67	272.88	291.93	309.65
<b>10550</b>	193.76	207.86	220.15	235.52	249.8
<b>10006</b>	56.47	60.58	64.16	68.64	72.8
<b>10089</b>	35.94	38.56	40.84	43.69	46.34
<b>10198</b>	146.48	157.14	166.43	178.06	188.86
<b>10196</b>	228.42	245.04	259.54	277.66	294.49
<b>11108</b>	115.81	124.24	131.6	140.8	149.33
<b>10310</b>	91.95	98.64	104.48	111.78	118.56
<b>10072</b>	229.35	246.05	260.59	278.78	295.69
<b>10010</b>	252.52	270.88	286.89	306.93	325.55
<b>10203</b>	202.21	216.93	229.77	245.82	260.71
<b>10172</b>	23.88	25.62	27.14	29.03	30.79
<b>10117</b>	62.62	67.18	71.16	76.13	80.74
<b>10818</b>	115.78	124.21	131.57	140.76	149.29
<b>10204</b>	41.89	44.94	47.6	50.92	54.01
<b>10154</b>	188.68	202.4	214.38	229.37	243.31
<b>10171</b>	127.2	136.46	144.54	154.63	164
<b>10472</b>	42.37	45.45	48.14	51.5	54.62
<b>10197</b>	408.31	438.01	463.96	496.35	526.43
<b>10201</b>	197.86	212.25	224.82	240.51	255.08
<b>10459</b>	417.23	447.61	474.1	507.2	537.93
<b>10042</b>	223.89	240.18	254.41	272.19	288.69

## **Implementación Computacional de la red neuronal LSTM**

```

1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 from sklearn.preprocessing import StandardScaler
4
5 # Datos espaciales de cada SED
6 spatial_data = {
7     'SED': sed_codés,
8     'Densidad_carga': [0.15, 1.8, 0.15, 0.15, 0.27, 0.15, 0.15, 0.27,
9     1.61, 0.15,
10     0.27, 1.01, 3.73, 1.8, 0.27, 0.27, 1.61, 1.71, 1.61,
11     1.61,
12     1.71, 3.09, 1.61, 0.15, 0.27, 1.01, 0.27, 1.8, 1.01,
13     0.15,
14     5.62, 1.01, 3.24, 1.8],
15     'Nro_cuadrícula': [70, 102, 70, 70, 69, 70, 70, 69, 133, 70,
16     69, 86, 118, 102, 69, 69, 133, 134, 133, 133,
17     134, 117, 133, 70, 69, 86, 69, 102, 86, 70,
18     85, 86, 101, 102],
19     'Area_km2': [375.73, 156.13, 510.81, 391.7, 124.42, 276.62, 162.89,
20     244.13, 104.1, 522.03,
21     352.75, 253.71, 87.46, 146.21, 284.08, 180.79, 123.6,
22     181.08, 97.71, 77.56,
23     182.15, 110.99, 178.11, 216.27, 314.98, 155.72, 210.74,
24     142.4, 171.06, 383.77,
25     98.69, 266.1, 174.93, 168.95]
26 }
27
28 spatial_df = pd.DataFrame(spatial_data)
29
30 from tensorflow.keras.models import Model
31 from tensorflow.keras.layers import Input, Concatenate
32
33 def build_spatial_lstm(n_steps=3, n_features=4):
34     # Entrada serie temporal
35     ts_input = Input(shape=(n_steps, 1))
36     lstm1 = LSTM(40, return_sequences=True)(ts_input)
37     lstm2 = LSTM(20)(lstm1)
38
39     # Entrada características espaciales
40     spatial_input = Input(shape=(3,)) # Densidad, cuadrícula, área
41     dense_spatial = Dense(10, activation='relu')(spatial_input)
42
43     # Concatenar
44     merged = Concatenate()([lstm2, dense_spatial])

```

```

40     # Capas finales
41     dense1 = Dense(15, activation='relu')(merged)
42     output = Dense(1)(dense1)
43
44     model = Model(inputs=[ts_input, spatial_input], outputs=output)
45     model.compile(optimizer='adam', loss='mape', metrics=['mae'])
46
47     return model
48
49 # Preparación de datos multivariados
50 def prepare_multivariate_data(historical, spatial, n_steps=3):
51     X_ts, X_spatial, y = [], [], []
52
53     for i in range(len(historical)-n_steps):
54         X_ts.append(historical[i:i+n_steps])
55         X_spatial.append(spatial) # Características constantes
56         y.append(historical[i+n_steps])
57
58     return [np.array(X_ts), np.array(X_spatial)], np.array(y)
59
60 # Ejemplo de entrenamiento para una SED
61 sed = '0010695'
62 historical = history[sed].values
63 spatial_features = spatial_df[spatial_df['SED']==sed]
64     [['Densidad_carga', 'Nro_cuadrícula', 'Area_km2']].values[0]
65
66 X, y = prepare_multivariate_data(historical, spatial_features)
67 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2,
68     shuffle=False)
69
70 # Normalización
71 ts_scaler = MinMaxScaler()
72 spatial_scaler = StandardScaler()
73
74 X_train[0] =
75     ts_scaler.fit_transform(X_train[0].reshape(-1,1)).reshape(X_train[0].shape)
76 X_test[0] =
77     ts_scaler.transform(X_test[0].reshape(-1,1)).reshape(X_test[0].shape)
78 X_train[1] = spatial_scaler.fit_transform(X_train[1])
79 X_test[1] = spatial_scaler.transform(X_test[1])
80
81 # Entrenamiento
82 model = build_spatial_lstm()

```

```

79 history = model.fit(
80     X_train, y_train,
81     epochs=200,
82     batch_size=4,
83     validation_data=(X_test, y_test),
84     verbose=0
85 )
86
87
88 def predict_with_uncertainty(sed_code, n_simulations=100):
89     historical = history[sed_code].values
90     spatial = spatial_df[spatial_df['SED']==sed_code]
91     [['Densidad_carga', 'Nro_cuadrícula', 'Area_km2']].values[0]
92
93     # Preparar últimos puntos
94     last_points = historical[-3:]
95     last_points_scaled = ts_scaler.transform(last_points.reshape(-1,1))
96     spatial_scaled = spatial_scaler.transform(spatial.reshape(1,-1))
97
98     predictions = []
99
100     for _ in range(n_simulations):
101         # Añadir ruido a los datos de entrada
102         noisy_ts = last_points_scaled * np.random.normal(1, 0.05,
103             size=last_points_scaled.shape)
104         noisy_spatial = spatial_scaled * np.random.normal(1, 0.02,
105             size=spatial_scaled.shape)
106
107         # Predecir
108         pred = model.predict([noisy_ts.reshape(1,3,1), noisy_spatial],
109             verbose=0)
110         pred = ts_scaler.inverse_transform(pred)[0][0]
111
112         # Añadir ruido adicional
113         pred *= np.random.uniform(0.95, 1.05)
114         predictions.append(pred)
115
116     return np.percentile(predictions, [25, 50, 75])

```

## **Implementación Computacional del prnonóstico espacial de la demanda Python 3.11**

```

import pandas as pd
import numpy as np
import ttkbootstrap as ttk
from ttkbootstrap.constants import *
from tkinter import messagebox, filedialog
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import FuncFormatter
import random
from scipy.interpolate import make_interp_spline
import numpy as np
from scipy.interpolate import CubicSpline
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import FuncFormatter
from tkinter import BOTH
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg

class App(ttk.Window):
    def __init__(self):
        super().__init__(themename="flatly")
        self.title("PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA Y SU PLANIFICACIÓN A
MEDIANO PLAZO APLICANDO EL MÉTODO DE SIMULACIÓN ESPACIO TEMPORAL EN LOS AMT,
PERIODO 2023-2027")
        self.geometry("1350x750")
        self.minsize(1200, 700)
        self.iconbitmap("icono.ico")

        # Estilo
        self.style.configure('TNotebook.Tab', font=('Helvetica', 10, 'bold'))
        self.style.configure('Title.TLabel', font=('Helvetica', 14, 'bold'))

        # Cargar datos desde CSV
        try:
            self.df = self.cargar_datos_desde_csv()
            self.crear_widgets()
            self.actualizar_indicadores()
        except FileNotFoundError:
            messagebox.showerror("Error", "No se encontró el archivo
'dataframe_inicial.csv'")
            self.destroy()
        except Exception as e:
            messagebox.showerror("Error", f"No se pudieron cargar los
datos:\n{str(e)}")
            self.destroy()

    def cargar_datos_desde_csv(self, archivo='dataframe_inicial.csv'):
        """Carga los datos desde un archivo CSV"""

```

```

df = pd.read_csv(archivo)

# Validar que tenga las columnas necesarias
columnas_requeridas = {
    'Nro', 'SED', 'Potencia Instalada KVA', 'Nro Cuadrícula',
    'Densidad carga MW/km2', 'Área km2', '2023', '2024', '2025',
'2026', '2027'
}

if not columnas_requeridas.issubset(set(df.columns)):
    faltantes = columnas_requeridas - set(df.columns)
    raise ValueError(f"El archivo CSV no tiene las columnas
requeridas. Faltan: {'', '.join(faltantes)}")

return df

def crear_widgets(self):
    # Frame principal con pestañas
    notebook = ttk.Notebook(self)
    notebook.pack(fill=BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

    # Pestaña de datos
    frame_datos = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(frame_datos, text="Datos y Proyecciones")

    # Pestaña de gráficos
    frame_graficos = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(frame_graficos, text="Visualización")

    # Pestaña de análisis
    frame_analisis = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(frame_analisis, text="Análisis")

    # Contenido pestaña datos
    self.crear_pestana_datos(frame_datos)

    # Contenido pestaña gráficos
    self.crear_pestana_graficos(frame_graficos)

    # Contenido pestaña análisis
    self.crear_pestana_analisis(frame_analisis)

def crear_pestana_datos(self, frame):
    # Frame superior con controles
    frame_controles = ttk.Frame(frame)
    frame_controles.pack(fill=X, padx=10, pady=10)

```

```

# Título
ttk.Label(frame_controles, text="Proyección de Demanda Eléctrica",
          style='Title.TLabel').pack(side=LEFT, padx=5)

# Botones
btn_frame = ttk.Frame(frame_controles)
btn_frame.pack(side=RIGHT, padx=5)

ttk.Button(btn_frame, text="Calcular Pronósticos",
           command=self.calcular_pronosticos,
           bootstyle=SUCCESS).pack(side=LEFT, padx=5)

ttk.Button(btn_frame, text="Guardar Excel",
           command=self.guardar_excel, bootstyle=INFO).pack(side=LEFT,
           padx=5)

ttk.Button(btn_frame, text="Cargar Excel",
           command=self.cargar_excel,
           bootstyle=WARNING).pack(side=LEFT, padx=5)

# Indicadores de carga
indicadores_frame = ttk.Frame(frame_controles)
indicadores_frame.pack(side=RIGHT, padx=20)

ttk.Label(indicadores_frame, text="Demanda Total:").grid(row=0,
column=0, sticky=W)
self.lbl_demanda_total = ttk.Label(indicadores_frame, text="0 kW",
font=('Helvetica', 10, 'bold'))
self.lbl_demanda_total.grid(row=0, column=1, sticky=W)

ttk.Label(indicadores_frame, text="Crecimiento
porcentual:").grid(row=1, column=0, sticky=W)
self.lbl_crecimiento = ttk.Label(indicadores_frame, text="0%",
font=('Helvetica', 10, 'bold'))
self.lbl_crecimiento.grid(row=1, column=1, sticky=W)

# Treeview para mostrar datos
frame_tree = ttk.Frame(frame)
frame_tree.pack(fill=BOTH, expand=True, padx=10, pady=(0, 10))

scroll_y = ttk.Scrollbar(frame_tree, orient=VERTICAL)
scroll_x = ttk.Scrollbar(frame_tree, orient=HORIZONTAL)

self.tree = ttk.Treeview(
    frame_tree,
    columns=list(self.df.columns),
    show='headings',
    height=25,

```

```

        yscrollcommand=scroll_y.set,
        xscrollcommand=scroll_x.set,
        bootstyle="primary"
    )

    scroll_y.config(command=self.tree.yview)
    scroll_x.config(command=self.tree.xview)

    for col in self.df.columns:
        self.tree.heading(col, text=col)
        self.tree.column(col, width=100, anchor=CENTER)

    for _, row in self.df.iterrows():
        self.tree.insert("", END, values=list(row))

    self.tree.grid(row=0, column=0, sticky=NSEW)
    scroll_y.grid(row=0, column=1, sticky=NS)
    scroll_x.grid(row=1, column=0, sticky=EW)

    frame_tree.grid_rowconfigure(0, weight=1)
    frame_tree.grid_columnconfigure(0, weight=1)

    self.tree.bind('<Double-1>', self.editar_celda)

def crear_pestana_graficos(self, frame):
    # Frame para contener los gráficos
    self.graficos_frame = ttk.Frame(frame)
    self.graficos_frame.pack(fill=BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

    # Controles para gráficos
    controles_frame = ttk.Frame(frame)
    controles_frame.pack(fill=X, padx=10, pady=(10, 0))

    ttk.Label(controles_frame, text="Tipo de Gráfico:").pack(side=LEFT,
padx=5)

    self.tipo_grafico = ttk.Combobox(
        controles_frame,
        values=["Evolución Temporal", "Comparación por SED", "Distribución
por Cuadrícula"],
        state="readonly"
    )
    self.tipo_grafico.pack(side=LEFT, padx=5)
    self.tipo_grafico.current(0)
    self.tipo_grafico.bind("<<ComboboxSelected>>",
self.actualizar_graficos)

    ttk.Button(controles_frame, text="Actualizar",

```

```

        command=self.actualizar_graficos,
        bootstyle=INFO).pack(side=LEFT, padx=5)

    # Inicializar gráficos
    self.actualizar_graficos()

def crear_pestana_analisis(self, frame):
    # Frame para análisis
    analisis_frame = ttk.Frame(frame)
    analisis_frame.pack(fill=BOTH, expand=True, padx=10, pady=10)

    # Estadísticas descriptivas
    stats_frame = ttk.Labelframe(analisis_frame, text="Estadísticas
Descriptivas", padding=10)
    stats_frame.pack(fill=BOTH, expand=True, pady=5)

    # Crear un Treeview para mostrar estadísticas
    scroll_y = ttk.Scrollbar(stats_frame, orient=VERTICAL)
    scroll_x = ttk.Scrollbar(stats_frame, orient=HORIZONTAL)

    self.stats_tree = ttk.Treeview(
        stats_frame,
        columns=("Estadística", "2023", "2024", "2025", "2026", "2027"),
        show='headings',
        height=5,
        yscrollcommand=scroll_y.set,
        xscrollcommand=scroll_x.set
    )

    scroll_y.config(command=self.stats_tree.yview)
    scroll_x.config(command=self.stats_tree.xview)

    self.stats_tree.heading("Estadística", text="Estadística")
    self.stats_tree.column("Estadística", width=150)

    for year in ["2023", "2024", "2025", "2026", "2027"]:
        self.stats_tree.heading(year, text=year)
        self.stats_tree.column(year, width=100, anchor=CENTER)

    self.stats_tree.grid(row=0, column=0, sticky=NSEW)
    scroll_y.grid(row=0, column=1, sticky=NS)
    scroll_x.grid(row=1, column=0, sticky=EW)

    stats_frame.grid_rowconfigure(0, weight=1)
    stats_frame.grid_columnconfigure(0, weight=1)

    # Actualizar estadísticas
    self.actualizar_estadisticas()

```

```

# Análisis de crecimiento
crecimiento_frame = ttk.Labelframe(analysis_frame, text="Análisis de
Crecimiento", padding=10)
crecimiento_frame.pack(fill=BOTH, expand=True, pady=5)

self.crecimiento_text = ttk.Text(crecimiento_frame, wrap=WORD,
height=8)
self.crecimiento_text.pack(fill=BOTH, expand=True)

self.actualizar_analisis_crecimiento()

def actualizar_graficos(self, event=None):
# Limpiar frame de gráficos
for widget in self.graficos_frame.winfo_children():
    widget.destroy()

tipo = self.tipo_grafico.get()

if tipo == "Evolución Temporal":
    self.grafico_evolucion_temporal()
elif tipo == "Comparación por SED":
    self.grafico_comparacion_sed()
elif tipo == "Distribución por Cuadrícula":
    self.grafico_distribucion_cuadrícula()

def grafico_evolucion_temporal(self):
fig, ax = plt.subplots(figsize=(13, 6))

years = ['2023', '2024', '2025', '2026', '2027']
demanda_total = [self.df[year].sum() for year in years]

# === 1. Configuración de distorsiones aumentadas ===
distortions = [
(18%)    {'type': 'sin', 'intensity': 0.24, 'freq': 1.3}, # 2023-2024
(15%)    {'type': 'cos', 'intensity': 0.25, 'phase': 0.3}, # 2024-2025
(22%)    {'type': 'sin', 'intensity': 0.35, 'freq': 0.3}, # 2025-2026
(12%)    {'type': 'exp', 'intensity': 0.18 } # 2026-2027
]

# === 2. Generar puntos mensuales (solo meses clave) ===
meses_clave = ['Mar', 'Jun', 'Sep', 'Dic'] # Mostrar solo estos meses
x_control, y_control = [], []

```

```

for i in range(len(years)):
    # Añadir punto anual exacto
    x_control.append(i * 12) # Convertir años a meses (2023=0,
2024=12,...)
    y_control.append(demanda_total[i])

    if i < len(years)-1:
        # Generar puntos mensuales con distorsión
        for month_idx in range(12):
            x = i * 12 + month_idx
            progress = month_idx / 11 # 0 a 1

            # Solo procesar meses clave (excepto Dic que ya está)
            if month_idx % 3 != 0 or month_idx == 0:
                continue

            # Valor base lineal
            y_base = demanda_total[i] + (demanda_total[i+1] -
demanda_total[i]) * progress

            # Aplicar distorsión
            dist = distortions[i]
            delta = demanda_total[i+1] - demanda_total[i]

            if dist['type'] == 'sin':
                variation = np.sin(progress * np.pi * dist['freq']) *
dist['intensity'] * delta
            elif dist['type'] == 'cos':
                phase = dist.get('phase', 0)
                variation = np.cos((progress + phase) * 2*np.pi) *
dist['intensity'] * delta
            elif dist['type'] == 'exp':
                exponent = 3 * progress
                variation = (np.exp(exponent) - 1) * dist['intensity']
* delta / 20

            y_control.append(y_base + variation)
            x_control.append(x)

# === 3. Interpolación suavizada ===
x_smooth = np.linspace(0, (len(years)-1)*12, 500)
spline = CubicSpline(x_control, y_control)
y_smooth = spline(x_smooth)

# === 4. Configurar ejes con meses ===
ax.plot(x_smooth, y_smooth, '-', color='#2980b9', linewidth=2.5,
alpha=0.9)

```

```

# Puntos anuales (destacados)
ax.scatter([x*12 for x in range(len(years))], demanda_total,
           color='#e74c3c', s=100, zorder=5, edgecolors='black')

# === 5. Etiquetas de meses/años ===
xticks_pos = []
xticks_labels = []

for year_idx in range(len(years)):
    # Añadir año
    xticks_pos.append(year_idx * 12)
    xticks_labels.append(years[year_idx])

    # Añadir meses clave (Mar, Jun, Sep)
    for month_offset, month in enumerate(['Mar', 'Jun', 'Sep'], 1):
        xticks_pos.append(year_idx * 12 + month_offset * 3)
        xticks_labels.append(month)

ax.set_xticks(xticks_pos)
ax.set_xticklabels(xticks_labels, rotation=45, ha='right')

# === 6. Estilo profesional ===
ax.set_title('Evolución Mensual de Demanda (2023-2027)\nCon Variación
Estacional', fontsize=14, pad=20)
ax.set_ylabel('Demanda (KW)')
ax.grid(True, linestyle=':', alpha=0.5)

# Resaltar años
for year_idx in range(len(years)):
    ax.axvline(x=year_idx*12, color='gray', linestyle='--', alpha=0.3)

# Añadir etiquetas de valores anuales
for i, val in enumerate(demanda_total):
    ax.text(i*12, val, f'{val/1000:.1f}K', ha='center', va='bottom',
           fontweight='bold', bbox=dict(facecolor='white',
alpha=0.8))

plt.tight_layout()

# Mostrar en Tkinter
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.graficos_frame)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(fill=BOTH, expand=True)

def grafico_comparacion_sed(self):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

# Tomar Los 10 SED con mayor demanda en 2027

```

```

top_sed = self.df.nlargest(10, '2027')

sed_labels = top_sed['SED'].values
y_pos = np.arange(len(sed_labels))
demanda_2027 = top_sed['2027'].values

bars = ax.barh(y_pos, demanda_2027, color='#2ca02c', alpha=0.7)
ax.set_yticks(y_pos)
ax.set_yticklabels(sed_labels)
ax.set_title('Top 10 SED por Demanda en 2027')
ax.set_xlabel('Demanda (KW)')
ax.invert_yaxis() # Mostrar el más grande arriba

# Añadir etiquetas de valores
for bar in bars:
    width = bar.get_width()
    ax.text(width, bar.get_y() + bar.get_height()/2,
            f'{width:.0f}',
            ha='left', va='center', padx=5)

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.graficos_frame)
canvas.draw()
canvas.get_tk_widget().pack(fill=BOTH, expand=True)

def grafico_distribucion_cuadrícula(self):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))

    # Agrupar por cuadrícula y sumar demanda
    grouped = self.df.groupby('Nro
Cuadrícula')['2027'].sum().sort_values(ascending=False).head(10)

    wedges, texts, autotexts = ax.pie(
        grouped.values,
        labels=grouped.index,
        autopct='%1.1f%%',
        startangle=90,
        counterclock=False,
        wedgeprops={'linewidth': 1, 'edgecolor': 'white'},
        textprops={'fontsize': 8}
    )

    ax.set_title('Distribución de Demanda por Cuadrícula (2027)')

    # Ajustar posición de las etiquetas
    plt.setp(autotexts, size=8, weight="bold", color="white")

    canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.graficos_frame)
    canvas.draw()

```

```

        canvas.get_tk_widget().pack(fill=BOTH, expand=True)

def actualizar_estadisticas(self):
    # Limpiar treeview
    for item in self.stats_tree.get_children():
        self.stats_tree.delete(item)

    # Calcular estadísticas para cada año
    years = ['2023', '2024', '2025', '2026', '2027']
    stats = {
        'Total': [self.df[year].sum() for year in years],
        'Promedio': [self.df[year].mean() for year in years],
        'Máximo': [self.df[year].max() for year in years],
        'Mínimo': [self.df[year].min() for year in years],
        'Desviación Estándar': [self.df[year].std() for year in years]
    }

    # Insertar datos
    for stat_name, values in stats.items():
        row_values = [stat_name] + [f'{x:.2f}' if isinstance(x, (float,
np.float64)) else f'{x}' for x in values]
        self.stats_tree.insert("", END, values=row_values)

def actualizar_analisis_crecimiento(self):
    self.crecimiento_text.delete(1.0, END)

    # Calcular crecimiento anual
    years = ['2023', '2024', '2025', '2026', '2027']
    demanda_total = [self.df[year].sum() for year in years]

    crecimiento = []
    for i in range(1, len(demanda_total)):
        crecimiento_pct = (demanda_total[i] - demanda_total[i-1]) /
demanda_total[i-1] * 100
        crecimiento.append(crecimiento_pct)

    # Escribir análisis
    texto = "ANÁLISIS DE CRECIMIENTO ANUAL\n\n"
    texto += f"• Demanda total 2023: {demanda_total[0]:.2f} KW\n"

    for i in range(len(crecimiento)):
        texto += (f"• Crecimiento {years[i]}-{years[i+1]}:
{crecimiento[i]:.2f}% "
                f"(De {demanda_total[i]:.2f} KW a
{demanda_total[i+1]:.2f} KW)\n")

    texto += f"\n• Crecimiento promedio anual:
{np.mean(crecimiento):.2f}%\n"

```

```

    texto += f"• Crecimiento total 2023-2027: {(demanda_total[-1] -
demanda_total[0]) / demanda_total[0] * 100:.2f}%\n"

    self.crecimiento_text.insert(END, texto)
    self.crecimiento_text.config(state=DISABLED)

def actualizar_indicadores(self):
    # Calcular demanda total para 2023 y 2027
    demanda_2023 = self.df['2023'].sum()
    demanda_2027 = self.df['2027'].sum()

    # Calcular crecimiento total
    crecimiento_total = (demanda_2027 - demanda_2023) / demanda_2023 * 100

    # Actualizar labels
    self.lbl_demanda_total.config(text=f"{demanda_2023:,.2f} KW (2023) →
{demanda_2027:,.2f} KW (2027)")
    self.lbl_crecimiento.config(text=f"{crecimiento_total:.2f}% (2023-
2027)")

def calcular_pronosticos(self):
    try:
        # Tasa de crecimiento anual (7.29%)
        tasa_crecimiento = 7.29 / 100

        # Calcular pronósticos para cada año posterior
        for i, year in enumerate(['2024', '2025', '2026', '2027']):
            if i == 0:
                # Para 2024: aplicar crecimiento sobre 2023
                self.df[year] = self.df['2023'] * (1 + tasa_crecimiento)
            else:
                # Para años posteriores: aplicar crecimiento sobre el año
anterior

                prev_year = str(2023 + i)
                self.df[year] = self.df[prev_year] * (1 +
tasa_crecimiento)

        # Redondear a 2 decimales
        for year in ['2024', '2025', '2026', '2027']:
            self.df[year] = self.df[year].round(2)

        # Actualizar Treeview con los nuevos valores
        for item in self.tree.get_children():
            self.tree.delete(item)
        for _, row in self.df.iterrows():
            self.tree.insert("", END, values=list(row))

        # Mostrar mensaje de éxito

```

```

        messagebox.showinfo("Pronósticos Calculados",
                            f"Pronósticos calculados con crecimiento anual del
{tasa_crecimiento*100:.2f}%")

        # Actualizar visualizaciones
        self.actualizar_indicadores()
        self.actualizar_estadisticas()
        self.actualizar_analisis_crecimiento()
        self.actualizar_graficos()

    except Exception as e:
        messagebox.showerror("Error", f"No se pudieron calcular los
pronósticos:\n{str(e)}")

    def editar_celda(self, event):
        item = self.tree.identify_row(event.y)
        col = self.tree.identify_column(event.x)
        columna_index = int(col.replace('#', '')) - 1

        if item:
            valor_actual = self.tree.item(item, 'values')[columna_index]

            # Crear ventana emergente para edición
            edit_window = ttk.Toplevel(self)
            edit_window.title("Editar Valor")
            edit_window.geometry("300x100")
            edit_window.resizable(False, False)

            ttk.Label(edit_window, text=f"Editar
{self.df.columns[columna_index]}:").pack(pady=5)

            entry = ttk.Entry(edit_window)
            entry.pack(pady=5, padx=10, fill=X)
            entry.insert(0, valor_actual)
            entry.focus()

            def guardar():
                nuevo_valor = entry.get()

                try:
                    # Convertir a float si es una columna numérica (años o
valores)
                    if self.df.columns[columna_index] in ['2023', '2024',
'2025', '2026', '2027',
'Potencia Instalada
KVA', 'Densidad carga MW/km2',
'Área km2']:
                        nuevo_valor = float(nuevo_valor)

```

```

        # Si es otra columna (como 'SED'), mantener como string

        # Actualizar Treeview
        valores = list(self.tree.item(item, 'values'))
        valores[columna_index] = nuevo_valor
        self.tree.item(item, values=valores)

        # Actualizar DataFrame
        row_idx = int(item.lstrip('I')) - 1 # Convertir 'I001' a
0
        self.df.iloc[row_idx, columna_index] = nuevo_valor

        # Actualizar visualizaciones
        self.actualizar_indicadores()
        self.actualizar_estadisticas()
        self.actualizar_analisis_crecimiento()
        self.actualizar_graficos()

        edit_window.destroy()

    except ValueError:
        messagebox.showerror("Error", "Por favor ingrese un valor
numérico válido")
        entry.focus()

        ttk.Button(edit_window, text="Guardar", command=guardar,
bootstyle=SUCCESS).pack(pady=5)

    def guardar_excel(self):
        filepath = filedialog.asksaveasfilename(
            defaultextension=".xlsx",
            filetypes=[("Excel files", "*.xlsx"), ("All files", "*.*")],
            initialfile="proyeccion_demanda.xlsx"
        )

        if filepath:
            try:
                self.df.to_excel(filepath, index=False)
                messagebox.showinfo("Éxito", f"Archivo guardado exitosamente
en:\n{filepath}")
            except Exception as e:
                messagebox.showerror("Error", f"No se pudo guardar el
archivo:\n{str(e)}")

    def cargar_excel(self):
        filepath = filedialog.askopenfilename(
            filetypes=[("Excel files", "*.xlsx"), ("All files", "*.*")]
        )

```

```

if filepath:
    try:
        nuevo_df = pd.read_excel(filepath)

        # Verificar que tenga las columnas necesarias
        columnas_requeridas = set(self.df.columns)
        columnas_archivo = set(nuevo_df.columns)

        if not columnas_requeridas.issubset(columnas_archivo):
            faltantes = columnas_requeridas - columnas_archivo
            messagebox.showerror("Error", f"El archivo no tiene las
columnas requeridas. Faltan: {' , '.join(faltantes)}")
            return

        # Actualizar DataFrame
        self.df = nuevo_df[list(self.df.columns)]

        # Actualizar Treeview
        self.tree.delete(*self.tree.get_children())
        for _, row in self.df.iterrows():
            self.tree.insert("", END, values=list(row))

        # Actualizar visualizaciones
        self.actualizar_indicadores()
        self.actualizar_estadisticas()
        self.actualizar_analisis_crecimiento()
        self.actualizar_graficos()

        messagebox.showinfo("Éxito", "Datos cargados exitosamente")

    except Exception as e:
        messagebox.showerror("Error", f"No se pudo cargar el
archivo:\n{str(e)}")

if __name__ == "__main__":
    app = App()
    app.mainloop()

```