



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**PROPUESTA DE UN DISEÑO PARA UNA IMPLEMENTACIÓN  
DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) EN EL SISTEMA  
DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE HONDURAS**

**SUSTENTADO POR:**

**CRISTHIAN EDUARDO SUAZO ULLOA  
FREDDY ALFONZO CHAVEZ CAMACHO**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN  
GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**SAN PEDRO SULA, CORTES, HONDURAS, C.A.**

**AGOSTO, 2025**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTORA**

**ROSALPINA RODRÍGUEZ**

**VICERRECTOR ACADÉMICO NACIONAL**

**JAVIER ABRAHAM SALGADO LEZAMA**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DECANA FACULTAD DE POSTGRADO**

**ANA DEL CARMEN RETTALLY VARGAS**

**PROPUESTA DE UN DISEÑO PARA UNA IMPLEMENTACIÓN  
DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) EN EL SISTEMA  
DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE HONDURAS**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN**

**GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**SANDRA MARIA SALAZAR CRUZ**

**ASESOR TEMÁTICO**

**MARIA CELESTE PARADA ACOSTA**

**MIEMBROS DE LA TERNA:**

**DAVID ANTONIO DIAZ GIRON  
RIGOBERTO RODRIGUEZ AVILA**

# **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2025  
Cristhian Eduardo Suazo Ulloa  
Freddy Alfonso Chávez Camacho

Todos los derechos son reservados.



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **PROPUESTA DE UN DISEÑO PARA UNA IMPLEMENTACIÓN DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE HONDURAS**

**CRISTHIAN EDUARDO SUAZO ULLOA  
FREDDY ALFONZO CHAVEZ CAMACHO**

### **Resumen**

La tesis propone una propuesta de un diseño para la implementación de redes inteligentes (Smart Grids) en el sistema de distribución eléctrica de Honduras, el cual presenta un alto índice de pérdidas tanto técnicas como no técnicas, cuenta con infraestructura obsoleta. Estos problemas provocan interrupciones continuas, sobrecargas en los transformadores y altos costos operativos, impactando de manera importante la calidad del servicio. La investigación utiliza un enfoque metodológico mixto, combinando encuestas a usuarios, análisis técnicos y revisión de experiencias internacionales, para justificar la necesidad de modernización del sistema eléctrico del país. La propuesta se centra en la instauración de ‘Smart Grids’ y la adición de tecnologías fuertes como los medidores avanzados (AMI), el análisis técnico identificó que la sobrecarga de transformadores y la extensión excesiva de los circuitos son las principales causas de pérdidas. Los hallazgos obtenidos comprueban la viabilidad de la propuesta al demostrar que es posible aprovechar la transformación que las Smart Grids ofrecen al sistema eléctrico de Honduras, esperando incrementar su eficiencia y confiabilidad, y a la vez tornándolo más sostenible. La modernización del sistema mediante Smart Grids requiere una estrategia integral que incluya: diagnóstico detallado de la red, implementación gradual de tecnologías AMI, capacitación del personal técnico.

La propuesta no solo mejoraría la calidad del servicio, sino que también sentaría las bases para un sistema eléctrico moderno, resiliente y preparado para los desafíos futuros de Honduras.

**Palabras claves:** Redes inteligentes, Pérdidas Técnicas, Medidores Inteligentes, Sistema de Distribución, Transformadores.



## **GRADUATE SCHOOL**

# **PROPOSAL FOR A DESIGN TO IMPLEMENT SMART GRIDS IN THE ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM OF HONDURAS**

**CRISTHIAN EDUARDO SUAZO ULLOA  
FREDDY ALFONZO CHAVEZ CAMACHO**

### **Abstract**

The thesis proposes a design for the implementation of smart grids in the electric distribution system of Honduras, which has a high rate of both technical and non-technical losses and has obsolete infrastructure. These problems cause continuous interruptions, overloads in transformers, and high operational costs, significantly impacting the quality of service. The research uses a mixed methodological approach, combining user surveys, technical analyses, and reviews of international experiences, to justify the need for modernization of the country's electrical system. The proposal focuses on the establishment of smart grids and the addition of robust technologies such as advanced meters (AMI); the technical analysis identified that transformer overload and excessive circuit extension are the main causes of losses. The findings obtained confirm the viability of the proposal by demonstrating that it is possible to take advantage of the transformation that smart grids offer to the electric system of Honduras, hoping to increase its efficiency and reliability, while also making it more sustainable. The modernization of the system through Smart Grids requires a comprehensive strategy that includes: detailed diagnosis of the grid, gradual implementation of AMI technologies, training of technical staff. The proposal would not only improve the quality of service but also lay the groundwork for a modern, resilient electric system ready for the future challenges of Honduras.

**Keywords:** Smart grids, Technical losses, Smart meters, Distribution system, Transformers.

## **DEDICATORIA**

Este logro va dedicado principalmente para Dios ya que fue mi punto de apoyo en los momentos difíciles que pase mientras cursaba la maestría, también a mi madre que siempre se enorgullece por cualquier logro que realice en mi vida tanto personal como profesionalmente y también a mi padre que es un ejemplo de superación para mí y por último a toda mi familia ya que siempre han estado cuando más se les necesita.

**Cristhian Eduardo Suazo Ulloa**

En el primer lugar le quiero dedicar a Dios un logro más en mi vida. A mis padres que siempre han estado para darme su apoyo incondicional y a toda mi familia. Gracias por estar siempre para darme ánimos. Gracias a Dios se logró la meta.

**Freddy Alfonzo Chávez Camacho**

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera dar todo el reconocimiento y agradecimiento a Dios ya que es quien ha hecho posible para mi poder estar cumpliendo un logro más en mi vida, también a mis padres que siempre me han apoyado incondicionalmente en cualquier desafío que me proponga cumplir.

**Cristhian Eduardo Suazo Ulloa**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de poder seguir creciendo profesionalmente. A toda mi familia y amistades que siempre me motivaron para culminar mi maestría.

**Freddy Alfonzo Chávez Camacho**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ix
AGRADECIMIENTO .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE GRAFICOS.....	xv
INDICE DE ECUACIONES .....	xvi
INDICE DE TABLAS .....	xvi
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN GENERAL .....	4
1.3.4 PREGUTA DE INVESTIGACIÓN ESPECÍFICAS .....	4
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	4
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	6
2.1.1 MACROENTORNO.....	6
2.1.2 MICROENTORNO .....	9
2.2 CONCEPTUALIZACION.....	12
2.2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	12
2.2.1.1 COMPONENTES DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	13
2.2.2 PERDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS .....	15
2.2.3 REDES INTELIGENTES.....	16
2.2.3.1 ELEMENTOS EN UNA RED INTELIGENTE (SMART GRID).....	16
2.2.3.2 VENTAJAS DE LAS REDES INTLIGENTES (SMART GRIDS).....	17
2.2.4 GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	18
2.2.4.1 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	19

2.2.4.2	APLICACIONES Y FUTURO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	19
2.3	TEORÍAS DE SUSTENTO .....	20
2.3.1	BASES TEÓRICAS.....	20
2.3.1.1	TEORIA DE SISTEMAS COMPLEJOS .....	20
2.3.1.2	TEORÍA DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.....	21
2.3.2	METODOLOGÍAS DESARROLLADAS .....	22
2.3.2.1	METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.....	22
2.3.2.2	METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	22
2.3.2.3	METODOLOGÍA DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS.....	23
2.4	MARCO LEGAL.....	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....		25
3.1	CONGRUENCIA METODOLÓGICA .....	25
3.1.1	MATRIZ METODOLÓGICA .....	25
3.1.2	ESQUEMA DE VARIABLES DE ESTUDIO .....	27
3.1.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	28
3.2	ENFOQUE Y MÉTODOS.....	28
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.3.1	POBLACIÓN.....	29
3.3.2	MUESTRA.....	29
3.3.3	TÉCNICAS DE MUESTREO .....	30
3.4	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS.....	31
3.4.1	TÉCNICAS.....	31
3.4.1.1	ENTREVISTAS.....	31
3.4.1.2	CUESTIONARIO.....	31
3.4.2	INSTRUMENTOS.....	31
3.5	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	31
3.5.1	FUENTES PRIMARIAS .....	31
3.5.2	FUENTES SECUNDARIAS.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....		33
4.1	INFORME DE PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	33

4.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS.....	35
4.2.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL INSTRUMENTO .....	36
4.3	EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE HONDURAS .....	55
4.4	LA TECNOLOGÍA SMART GRID Y LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS .....	63
4.5	FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION.....	65
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
5.1	CONCLUSIONES.....	67
5.2	RECOMENDACIONES.....	69
CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD.....		71
6.1	Nombre de la Propuesta .....	71
6.2	JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA.....	71
6.3	ALCANCE DE LA PROPUESTA.....	72
6.4	OBJETIVOS .....	72
6.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	72
6.4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	72
6.5	DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO .....	72
6.5.1	EJE ESTRATÉGICO 1: INSTALACIÓN DE MEDIDOR AMI PARA LA REDUCCIÓN DE PERDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN HONDURAS .	73
6.5.1.1	PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN .....	74
6.5.2	PROPUESTA INTEGRAL DE MODERNIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN HONDURAS: DIAGNÓSTICO, OPTIMIZACIÓN Y PLAN DE ACCIÓN PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN .....	75
6.5.2.1	PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN .....	76
6.5.2.2	EL LEVANTAMIENTO PILOTO .....	79
6.5.2.3	EXPLICACIÓN DE NORMATIVA .....	84
6.5.2.4	EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA .....	85
PROCESO DE SOCIALIZACION.....		89
6.6	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		94
ANEXOS .....		95
REGULACIONES DE VOLTAJE .....		95

.....	95
ASIGNACIONES DE DEMANDA.....	95
CRECIMIENTO ANUAL DE LA CARGA.....	96

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Microred inteligente en Choluteca .....	12
Figura 2 Sistema de distribución.....	14
Figura 3 Clasificación de pérdidas.....	16
Figura 4 Generación distribuida.....	20
Figura 5 Esquema de variables de estudio .....	27
Figura 6 Enfoque de investigación.....	29
Figura 7 Esquema de recolección de datos.....	34
Figura 8 Mapa de acceso a la energía eléctrica por departamento 2022.....	57
Figura 9 Principales motivaciones para la implementación de la MI.....	64
Figura 10 Información general de la propuesta .....	78
Figura 11 Medidor digital no normalizado .....	81
Figura 12 Medidor análogo no normalizado.....	81
Figura 13 Medidor análogo no normalizado.....	82
Figura 14 Medidor digital no normalizado .....	82
Figura 15 Distribución de abonados de transformador de 50KVA .....	83
Figura 16 Distribución de abonados de transformador de 50KVA .....	83
Figura 17 Requerimientos técnicos para la instalación de un medidor .....	84
Figura 18 Medidor instalado en vivienda .....	86
Figura 19 Modelo correcto de implementación de medidores AMI.....	87
Figura 20 EDT .....	91
Figura 21 Cronograma de actividades .....	92
Figura 22 Clasificación de las edificaciones según su área .....	95

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Acceso completo al servicio de energía eléctrica .....	36
Gráfico 2 Estado general del sistema eléctrico en su zona .....	37
Gráfico 3 Avisos de mantenimiento a la red eléctrica .....	38
Gráfico 4 Interrupciones del servicio .....	39
Gráfico 5 Horarios con mayor frecuencia de interrupciones .....	40
Gráfico 6 Afectación por las interrupciones de energía .....	41
Gráfico 7 Conexiones ilegales .....	42
Gráfico 8 Conexiones ilícitas hacen que la energía sea más cara .....	43
Gráfico 9 Causas más comunes por las que se pierde energía .....	44
Gráfico 10 Beneficios de los medidores inteligentes .....	45
Gráfico 11 Medidor instalado en su vivienda .....	46
Gráfico 12 Beneficios de una red inteligente .....	47
Gráfico 13 Inversión en redes inteligentes .....	48
Gráfico 14 Ajustes temporales en el servicio .....	49
Gráfico 15 Dispuesto a pagar una tarifa ligeramente mayor .....	50
Gráfico 16 Calidad del servicio eléctrico en términos de estabilidad de voltaje .....	51
Gráfico 17 Red eléctrica sostenible y resiliente .....	52
Gráfico 18 Personal apto para manejar nuevas tecnologías .....	53
Gráfico 19 Capacitación personal .....	54
Gráfico 20 Demanda máxima mensual en Honduras 2023 [MW] .....	55
Gráfico 21 índice de acceso a la electricidad 2022 .....	56
Gráfico 22 Energía no suministrada 2011-2023 .....	58
Gráfico 23 Energía no suministrada por tipo de causa 2023 .....	59
Gráfico 24 Porcentaje histórico de pérdidas eléctricas .....	60
Gráfico 25 Distribución de fallas en el sistema .....	61

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fórmula para el cálculo de una muestra de población finita.....	30
Ecuación 2 Ecuación para el dimensionamiento de transformadores.....	85

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz metodológica .....	26
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables.....	28
Tabla 3 Resultados de las encuestas aplicadas.....	35
Tabla 4 Resumen de fallas en el sistema de interconectado nacional.....	61
Tabla 5 Abonados en transformador de 50KVA .....	80
Tabla 6 Presupuesto .....	92
Tabla 7 Segmentos de la Tesis .....	93
Tabla 8 Regulaciones de voltaje .....	95
Tabla 9 Asignación de demanda según lote.....	95
Tabla 10 Factor de crecimiento de la carga anual.....	96

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de distribución eléctrica en Honduras se enfrenta a una serie de obstáculos significativos que comprometen su operatividad. Entre estos desafíos destacan las altas pérdidas, tanto técnicas como no técnicas, la baja eficiencia energética y una escasa integración de fuentes de energía renovables. Estos problemas no solo afectan la calidad del servicio eléctrico ofrecido a los usuarios, sino que además provocan un aumento en los costos operativos, obstaculizando así el desarrollo hacia un sistema eléctrico sostenible. (Dr. Ing. Miguel Ángel Figueroa, MSc. Ing. Jair Isaac Nazar Alfaro.2021, p. 19)

En este contexto, la implementación de redes inteligentes (smart grids), se presenta como una solución innovadora y transformadora. Estas redes combinan tecnologías avanzadas que incluyen medidores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real y mecanismos de automatización, lo que les permite optimizar el flujo de energía, gestionar la demanda de manera eficiente y facilitar la inclusión de fuentes renovables. Esta estrategia no solo mejora la eficiencia del sistema eléctrico, sino que también contribuye a la disminución de pérdidas. (Argemiro Aguilar Díaz, Pablo Roda, Gabriel Sánchez Sierra, 2012, Reflexiones sobre la implementación de redes inteligentes en el mem, p. 3)

No obstante, la implementación de estas redes necesita un diseño que se adapte a las particularidades técnicas y sociales del país. La propuesta tiene como objetivo proponer un esquema concreto para la implementación de redes inteligentes en Honduras, evaluando su viabilidad técnica, así como su efecto positivo en la eficiencia energética, la reducción de pérdidas y la integración de energías renovables. A través de un enfoque metodológico que busca evidenciar cómo las redes inteligentes pueden revolucionar el sistema eléctrico en Honduras, haciéndolo más eficiente, sostenible y apto para enfrentar los retos futuros.

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Las pérdidas de energía eléctrica de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) han tenido un incremento alarmante en los últimos años, el 18 de febrero de 2016 entro a operar la Empresa Energía Honduras para poder reducir perdidas, sin embargo, las perdidas técnicas y no técnicas aumentaron de manera progresiva anualmente.

Se puede observar que desde el año 2016 ocurrió una reducción de pérdidas eléctricas pasando de 33.38% a 27.11%. Pero a partir de febrero de 2018 se presentó un crecimiento en las pérdidas eléctricas hasta diciembre de 2020, en diciembre del 2023 el porcentaje de pérdidas eléctricas alcanzó un 36.9%. (Dr. Ing. Miguel Ángel Figueroa, MSc. Ing. Jair Isaac Nazar Alfaro.2021, p. 99)

Algunos países como Italia y República de Corea han adoptado nuevos modelos de distribución que promueven la gestión de la demanda para aumentar la eficiencia energética y permitir la introducción de la energía renovable. Estos conceptos requieren de un nuevo sistema de distribución que responda con mayor precisión y flexibilidad a los cambios de la gestión de la demanda de energía y un cambio en el concepto actual de la red unidireccional; es decir, lograr que las redes sean más inteligentes. En cuanto a la implementación de redes inteligentes, existen muchas opciones con diferentes niveles de sofisticación. Sin embargo, entre las distintas formas de implementación, son estándar las tecnologías avanzadas de comunicación que permiten un mejor uso de los activos de los sistemas de energía existentes y el acceso de los consumidores a una amplia gama de servicios.

América Latina y el Caribe enfrentan una serie de desafíos en el sector energético. En los países de la región, el consumo de energía va de la mano con el crecimiento económico y, por ende, ejerce presión para que los países aumenten sus capacidades de generación, transmisión y distribución con el fin de asegurar la disponibilidad de energía; es decir, su seguridad energética.

La seguridad energética, la eficiencia energética y las energías renovables son fundamentales para el futuro del sector energético de la región. La integración de la energía renovable en las redes existentes plantea retos importantes. Para abordar estas cuestiones será necesario hacer cambios normativos e introducir un enfoque holístico en la forma en que los usuarios finales y sus redes gestionan el uso de la energía. Honduras se enfrentan a los desafíos que implica aumentar su eficiencia energética (EE) y la porción de energía renovable (ER) en sus matrices energéticas.

Una red inteligente implica la combinación de infraestructura eléctrica e infraestructura de telecomunicaciones. La mayoría de las redes inteligentes tienen características propias. Una red inteligente proporciona una interfaz entre los aparatos de consumo y los recursos tradicionales de distribución de energía. Esta comunicación bidireccional permite que los consumidores tengan un mejor control del consumo de energía de sus electrodomésticos. Una red inteligente optimiza también los activos del sistema de energía. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014).

### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El sistema de distribución de la red eléctrica en Honduras en los últimos años se ha vuelto un problema significativo en la gestión de la energía. La alta demanda de energía eléctrica, sumada a las pérdidas tanto técnicas como no técnicas, ha creado desafíos graves. Además, se ha descuidado la infraestructura existente, lo que ha llevado a la conclusión de que la integración de energías renovables no está adecuadamente preparada para realizar una transición energética efectiva.

En este contexto, el uso de redes inteligentes (Smart Grids) puede ser una solución viable e innovadora para mejorar y optimizar el sistema de distribución eléctrica del país, permitiendo una modernización que podría mitigar los problemas actuales y facilitar la adopción de fuentes de energía renovables.

#### **1.3.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La falta de actualización de tecnologías en los sistemas de distribución en Honduras

#### **1.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La adopción de la tecnología de redes inteligentes (smart grids) puede ofrecer beneficios significativos en la disminución de las pérdidas técnicas y no técnicas así como en mejorar la eficiencia energética (EE) en el país, por medio de estas redes podemos asegurar el suministro fluido de energía eléctrica al usuario final también mediante la implementación de las redes inteligentes se puede hacer una mejor supervisión sobre la facturación de consumos en los usuarios finales y así asegurar que no existan pérdidas no técnicas.

El uso de este sistema también nos ayudara a poder garantizar el suministro fluido de energía eléctrica en instalaciones que son de vital importancia para la población como ser hospitales, centros educativos, oficinas policiales, centros penales, bomberos etc.

### 1.3.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN GENERAL

¿cuál es la forma en la que se puede implementar redes inteligentes en el sistema de distribución de la red eléctrica de Honduras?

### 1.3.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ESPECÍFICAS

¿Cuál es el estado actual del sistema de distribución eléctrica en Honduras y cuáles son sus principales deficiencias y oportunidades de mejora?

¿Qué estrategias pueden implementarse para reducir las pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema de distribución, mediante el uso de tecnologías de Smart Grid?

¿Cómo se puede diseñar una red inteligente en Honduras, integrando tecnologías como medidores inteligentes, monitoreo en tiempo real y automatización de la red?

## 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### **Objetivo General:**

Elaborar una propuesta de diseño para la implementación de una red inteligente en el sistema de distribución en Honduras, con el fin de mejorar la eficiencia energética, reducir las pérdidas y facilitar la integración de fuentes de energía renovable.

### **Objetivos Específicos:**

Evaluar el estado actual del sistema de distribución eléctrica en Honduras, identificando sus principales deficiencias y oportunidades de mejora.

Formular estrategias para reducir las pérdidas tanto técnicas como no técnicas en el sistema de distribución, utilizando tecnologías de Smart Grid.

Desarrollar una propuesta técnica para el diseño de una red inteligente, considerando tecnologías como medidores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real y automatización de la red.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

En Honduras las redes inteligentes (Smart Grids) en el sistema de distribución eléctrica debe de tener una implantación o propuesta para modernizar la infraestructura energética del país, mejorar la eficiencia energética del país y enfrentar los desafíos actuales del sector eléctrico. Las pérdidas técnicas y no técnicas en Honduras es un tema crítico en el sistema eléctrico, superan el 30% ocasionando un desperdicio significativo de recursos y un aumento en los costos operativos. (Dr. Ing. Miguel Ángel Figueroa, MSc. Ing. Jair Isaac Nazar Alfaro.2021, p. 89)

Además, la baja eficiencia en la distribución de energía afecta la calidad del servicio, generando interrupciones frecuentes y un suministro poco confiable para los usuarios. Estos problemas se agravan por la creciente demanda de energía, impulsada por el desarrollo económico y el crecimiento poblacional, lo que exige una modernización del sistema para evitar daños futuros. Se debe de tener en cuenta que Honduras tiene un gran potencial para la generación de energías renovables, especialmente solar y eólica, pero su integración al sistema eléctrico es limitada debido a la falta de infraestructura adecuada. Las redes inteligentes permitirían gestionar de manera eficiente la variabilidad de estas fuentes renovables, equilibrando la oferta y la demanda.

Además, la implementación de redes inteligentes tiene el potencial de mejorar la transparencia y reducir las pérdidas no técnicas, como el hurto de energía, que representa un problema significativo en el país. Al incorporar tecnologías como medidores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real, se podría detectar y prevenir el uso ilegal de energía, mejorando la rentabilidad del sistema.

La propuesta de redes inteligentes en Honduras no solo es una solución viable para los problemas actuales del sistema eléctrico, sino también una oportunidad para avanzar hacia un futuro energético más eficiente, sostenible y resiliente. Esta propuesta busca sentar las bases para esa transformación, aportando evidencia científica y propuestas concretas que impulsen la modernización del sector eléctrico en el país. (secretaría de estado en el despacho de energía, 2021, Informe estadístico anual del subsector eléctrico nacional)

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.**

El término redes inteligentes tiene diferentes definiciones y connotaciones, que pueden ser muy simples o amplias. La mayoría de las definiciones concuerdan con que la red inteligente es la modernización sostenible de la red eléctrica, la integración de tecnologías de información y comunicación para gestionar y operar de forma inteligente la generación, transmisión, distribución. (Fang, X., Misra, S. Xue, G., & Yang, D. (2012), p. 14)

Como punto de partida, la incorporación de inteligencia artificial debe permitir la operación de una red cada vez más compleja, debido a la presencia de generación distribuida, incluso dentro de las instalaciones de los clientes; sistemas de almacenamiento de energía, tanto centralizados como distribuidos; electrodomésticos inteligentes diseñados para consumir menos energía y capaces de responder a las condiciones de demanda en la red; y redes con capacidad de autorrecuperación ante fallas, a través de sistemas de protección y seccionamiento que son monitoreados y controlados de forma remota.

Las redes inteligentes en América Latina representan un avance verdaderamente significativo hacia la creación de sistemas eléctricos que no solo sean más eficientes, sino también altamente confiables y sostenibles. La integración de tecnologías de vanguardia, que incluyen desde medidores inteligentes hasta sistemas avanzados de automatización y sofisticadas redes de comunicación, facilita una optimización impresionante en la generación, distribución y consumo de energía eléctrica.

#### **2.1.1 MACROENTORNO**

En América Latina, la implementación de redes inteligentes (Smart Grids) surge como una respuesta integral a varios desafíos comunes que enfrentan los distintos países de la región: sistemas de distribución obsoletos, altas pérdidas energéticas y una creciente demanda eléctrica y energética. Países como Chile, Brasil y Colombia se han destacado en este contexto, asumiendo un papel de liderazgo en el desarrollo y ejecución de proyectos piloto que integran tecnologías innovadoras como medidores inteligentes, sistemas de comunicación avanzada y automatización. Sin embargo, estos avances no son uniformes, ya que cada nación enfrenta su propio conjunto de circunstancias y limitaciones. La región también se encuentra en un ambiente complicado,

enfrentando barreras regulatorias y dificultades financieras que pueden obstaculizar el progreso. A pesar de estos retos, América Latina cuenta con ventajas, como una matriz energética que prioriza fuentes renovables y el apoyo de organismos internacionales que fomentan la transición hacia modelos más sostenibles.

Este proceso de integración tecnológica y de modernización del sector energético contribuye significativamente a disminuir la dependencia de combustibles fósiles, al mismo tiempo que favorece los esfuerzos globales hacia la descarbonización y la sostenibilidad ambiental, que son cada vez más urgentes en el contexto actual del cambio climático. En particular, países como Brasil, Chile y Colombia se destacan por liderar diversas iniciativas piloto que están dirigidas a implementar soluciones como medidores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real. Todos estos esfuerzos tienen el noble objetivo de aumentar la eficiencia general del sistema eléctrico y, críticamente, reducir tanto las pérdidas técnicas como las no técnicas que tradicionalmente han afectado al sector eléctrico, impactando negativamente en la calidad del servicio y en la sostenibilidad de este. (Rayén Quiroga Martínez, (2024), p. 15)

Centroamérica se enfrenta a importantes retos en sus sistemas de distribución eléctrica, que están marcados por infraestructuras anticuadas y elevadas pérdidas energéticas que superan el 20% en varios países de la región. La creciente demanda de electricidad y la urgente necesidad de incorporar fuentes de energía renovable han generado un notable interés en las redes inteligentes, aunque su implementación es desigual en el territorio. Costa Rica y Panamá se destacan como líderes en la ejecución de proyectos piloto relacionados con este tipo de tecnología, mientras que otros países avanzan con lentitud, obstaculizados por limitaciones tanto financieras como técnicas. La coordinación regional en políticas energéticas es escasa, lo que complica aún más la adopción de soluciones estandarizadas y deja a muchos sistemas eléctricos expuestos a ineficiencias y cortes frecuentes.

El marco regulatorio en Centroamérica presenta notables diferencias, ya que ciertos países han progresado en la formulación de normativas sobre generación distribuida, mientras que otros se encuentran rezagados en la modernización de sus leyes. Por ejemplo, Costa Rica ha implementado incentivos claros para fomentar la adopción de medidores inteligentes y tecnologías de automatización. En contraste, naciones como Nicaragua y El Salvador carecen de regulaciones específicas que impulse el desarrollo de redes inteligentes, lo que limita significativamente la

inversión del sector privado.

Desde una perspectiva tecnológica, la región enfrenta serias carencias en infraestructura avanzada y también en la disponibilidad de recursos humanos capacitados que puedan operar de manera eficaz los sistemas inteligentes que son necesarios en la actualidad. Aunque algunos países, como Costa Rica y Panamá, han comenzado a desarrollar programas de formación técnica, el avance es bastante lento y limitado en otros países de la región. La implementación de dispositivos avanzados como medidores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real se ha restringido mayormente a áreas urbanas con alta densidad de consumo, dejando a las zonas rurales en una situación de desventaja considerable. La transferencia de conocimientos y la colaboración con agencias internacionales pueden ayudar a acelerar este proceso de modernización tan necesario; sin embargo, se requiere un mayor compromiso y voluntad política por parte de los gobiernos locales para dar la debida prioridad a la modernización de las redes eléctricas existentes, asegurando de esta forma un desarrollo más equitativo y sostenible para toda la región. (Rayén Quiroga Martínez, (2024), p. 15)

Los desafíos climáticos que enfrentamos actualmente, los cuales incluyen fenómenos naturales devastadores como huracanes y sequías prolongadas, demandan urgentemente redes eléctricas que sean no solo más resilientes, sino también automatizadas en toda la vasta región centroamericana. Las Smart Grids, ofrecerían una respuesta rápida y eficiente ante las fallas en el sistema eléctrico y además permitirían una gestión mucho más efectiva de la demanda energética durante eventos extremos y situaciones adversas. Sin embargo, a pesar de las ventajas significativas que proporcionarían, la falta de una planificación adecuada a largo plazo y del financiamiento necesario han sido factores críticos que han ralentizado su implementación y desarrollo en toda la región centroamericana, impidiendo así el aprovechamiento total de estas tecnologías innovadoras. (Juan Manuel Gers, 2017, ENERLAC)

También es crucial destacar la imperiosa necesidad de formar profesionales altamente capacitados en estas nuevas y complejas tecnologías para asegurar que se maximice su efectividad. Sumado a esto, la variabilidad inherente asociada a las energías renovables y la infraestructura envejecida que persiste en muchas regiones, tanto rurales como urbanas, añaden complicaciones adicionales a la implementación de redes inteligentes.

A pesar de estas dificultades, las redes inteligentes presentan oportunidades excepcionales

para la modernización de la infraestructura eléctrica, la mejora de la calidad del servicio y la promoción de la participación de los consumidores. Organismos internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial, han brindado apoyo financiero a estos proyectos, reconociendo su potencial para fomentar el desarrollo sostenible en la región. (BID, 2020; Banco Mundial, 2019)

### **2.1.2 MICROENTORNO**

En la última década, la generación distribuida en Honduras ha evidenciado un notable crecimiento, siendo este fenómeno en gran medida estimulado por la adopción de fuentes de energía renovables, particularmente la energía solar fotovoltaica. Este modelo descentralizado otorga a los usuarios residenciales, comerciales e industriales la capacidad de generar su propia electricidad, así como la opción de inyectar los excedentes a la red nacional, lo que contribuye a la diversificación de la matriz energética del país (Ley de Generación con Fuentes Renovables, 2013). No obstante, el desarrollo de este sector enfrenta desafíos significativos. Entre estos se destacan la escasez de infraestructura adecuada y la ausencia de regulaciones claras para la conexión a la red eléctrica nacional, lo que limita su capacidad de expansión, especialmente en zonas rurales que poseen un alto potencial renovable, pero que tienen un acceso restringido a la red convencional. (IRENA, Renewable Energy Capacity Statistics, 2022, pp. 78-80)

La trayectoria de la generación distribuida en Honduras ha estado marcada por hitos regulatorios y tecnológicos relevantes. En un inicio, los sistemas fotovoltaicos fueron implementados principalmente en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica. Sin embargo, la aprobación del Reglamento de Generación Distribuida en 2017 sentó las bases para facilitar las conexiones a la red y establecer mecanismos de compensación por los excedentes generados. Este marco legal, complementado por programas de financiamiento como el Fondo de Desarrollo de Energías Renovables (FODER), ha propiciado que la capacidad instalada aumentase de menos de 10 MW en 2015 a más de 180 MW en 2023 (IRENA, 2022). Las regiones que han mostrado un mayor desarrollo incluyen Choluteca, Comayagua y Francisco Morazán, donde las condiciones solares son altamente favorables y existe una mayor capacidad de inversión. Sin embargo, persisten diversas barreras, tales como la falta de capacitación técnica, los altos costos iniciales para los usuarios residenciales y las limitaciones en la capacidad de absorción de la red, especialmente en áreas urbanas donde la infraestructura eléctrica no ha sido modernizada para

soportar flujos bidireccionales de energía. (BID ,2020, pp. 23)

En este contexto, la interrelación entre la generación distribuida y las redes inteligentes (smart grids) se vuelve esencial para el diseño de un sistema eléctrico moderno y eficiente en Honduras. Las redes inteligentes facilitan la gestión óptima de los flujos bidireccionales de energía, característicos de la generación distribuida, a través de la implementación de medidores avanzados, sistemas de automatización y tecnologías de comunicación. Estos elementos son cruciales para garantizar la estabilidad de la red frente a la variabilidad inherente de las fuentes de energía renovable y para optimizar la integración de pequeños generadores distribuidos. De acuerdo con estudios realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020), la adopción de smart grids podría reducir las pérdidas técnicas del sistema eléctrico hondureño, que actualmente superan el 30%, además de mejorar la calidad del servicio y permitir una respuesta más ágil ante fallas. Sin embargo, el crecimiento de estas tecnologías en el país se encuentra en una fase inicial, con avances limitados a proyectos piloto y algunas iniciativas de medición avanzada en áreas urbanas, en gran medida debido a los costes elevados de inversión y la carencia de un marco regulatorio que promueva su adopción masiva. (ENEE, 2023, pp. 45)

En la actualidad, Honduras ha puesto en marcha algunos proyectos emblemáticos que evidencian el potencial de las redes inteligentes, siendo el más relevante la microrred inteligente implementada en la isla de Roatán. Este proyecto, desarrollado con la colaboración de USAID y la ENEE, integra generación solar distribuida, sistemas de almacenamiento en baterías y una plataforma de gestión inteligente destinada a optimizar el suministro eléctrico en la isla (USAID, 2021). La microrred ha sido eficaz para disminuir los frecuentes apagones que afectaban a los residentes, sirviendo además como modelo para futuras implementaciones en otras áreas aisladas del país. Asimismo, la ENEE ha iniciado la modernización de subestaciones clave y la instalación de medidores inteligentes en localidades urbanas como Tegucigalpa y San Pedro Sula, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y reducir las pérdidas no técnicas. Sin embargo, estos avances aún son insuficientes para discutir un sistema eléctrico inteligente a nivel nacional, dado que persisten retos tales como la necesidad de incrementar las inversiones, modernizar la infraestructura existente y capacitar a técnicos en las nuevas tecnologías. (USAID. Informe Final: Proyecto de Microrred Inteligente en Roatán, 2021, pp. 15)

El futuro de la generación distribuida y de las redes inteligentes en Honduras dependerá en gran medida de las políticas públicas y de las inversiones que se realicen en los próximos años. Para maximizar el potencial de estas tecnologías, es imperativo que el país actualice su marco regulatorio, establezca tarifas dinámicas que fomenten la participación ciudadana y desarrolle programas de financiamiento accesibles. Organismos internacionales como el BID y el Banco Mundial han manifestado su disposición a respaldar esta transición, financiando estudios de viabilidad y proyectos piloto (Banco Mundial, 2022). Adicionalmente, la creciente competitividad de las energías renovables y las tecnologías de almacenamiento representan una oportunidad sin precedentes para modernizar el sistema eléctrico nacional. Si Honduras logra superar las barreras existentes, podría posicionarse como un líder regional en la integración de la generación distribuida y de redes inteligentes, alcanzando no solo un sistema energético más sostenible, sino también una mayor seguridad energética y un acceso universal a electricidad de calidad, especialmente en áreas rurales que históricamente han sido excluidas del desarrollo.

En Honduras, se están implementando proyectos innovadores de redes inteligentes en los sistemas de distribución de energía. Un ejemplo destacado es la Microrred Inteligente Híbrida de Energías Renovables en la comunidad de El Santuario, Choluteca. Este proyecto combina paneles fotovoltaicos, un gasificador de biomasa y sistemas de almacenamiento y gestión inteligente para generar unos 65 kW de energía<sup>1</sup>. Además, introduce una red de distribución subterránea que mejora el acceso a energía limpia y confiable para unas 86 familias.

Las redes inteligentes optimizan la distribución y el consumo de energía, reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia del sistema. También facilitan la integración de fuentes de energía renovable y permiten una gestión más dinámica y eficiente de los recursos energético



**Figura 1 Microred inteligente en Choluteca**

Fuente: (secretaría de energía, 2022)

## **2.2 CONCEPTUALIZACION**

### **2.2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

Un sistema de distribución eléctrica es la parte de la red encargada de llevar la energía desde las subestaciones de transmisión hasta los usuarios finales (hogares, comercios e industrias). Está compuesto por líneas de distribución, transformadores, interruptores y otros equipos que regulan el flujo eléctrico, garantizando un suministro seguro, eficiente y con niveles de voltaje adecuados. Opera en media y baja tensión, adaptándose a cada región, y enfrenta desafíos como pérdidas técnicas, fluctuaciones y la integración de energías renovables.

Estos sistemas se clasifican según el tipo de carga, volumen de energía y requisitos de seguridad en categorías como Industriales, Comerciales, Urbanos y Rurales. La modernización con tecnologías como las redes inteligentes (Smart Grids) es clave para mejorar su eficiencia y adaptarse a futuras demandas.

### 2.2.1.1 COMPONENTES DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución eléctrica están formados por elementos interconectados que permiten transmitir energía desde las subestaciones hasta los usuarios finales, ya sean residenciales, comerciales o industriales. Entre sus componentes principales destacan los transformadores, las líneas de distribución, los interruptores, los reguladores de voltaje y los dispositivos de protección. Cada uno cumple una función clave para garantizar el correcto funcionamiento de la red.

Los transformadores son esenciales, ya que ajustan los niveles de voltaje, reduciendo las altas tensiones de transmisión a valores seguros para el consumo. Las líneas de distribución ya sean aéreas o subterráneas, transportan la electricidad mediante conductores de cobre o aluminio, asegurando una conducción eficiente. Por su parte, los interruptores permiten maniobras de conexión y desconexión de manera controlada, contribuyendo a la estabilidad del sistema.

Los reguladores de voltaje mantienen un suministro estable, compensando variaciones en la carga para evitar daños en equipos electrónicos y electrodomésticos. Junto con los dispositivos de protección, estos componentes deben trabajar de manera coordinada para asegurar un servicio confiable y de calidad en el tiempo. La interacción armónica entre todos estos elementos es fundamental para la eficiencia y seguridad de la red eléctrica.

Las subestaciones de distribución representan otro componente esencial, ya que reciben energía de alta tensión y la transforman a niveles utilizables. Dentro de estas subestaciones se incluyen equipos como barras colectoras, seccionadores y dispositivos para la protección contra sobre corrientes. Los bancos de capacitores se utilizan para mejorar el factor de potencia y minimizar las pérdidas de energía. Además, los reconectadores automáticos reintegran el servicio tras una falla temporal, incrementando así la confiabilidad del sistema. La automatización de la distribución, a través de sistemas SCADA, permite el monitoreo y control de la red en tiempo real, optimizando su funcionamiento. (Kersting, W. H., 2018, pp. 89-112).

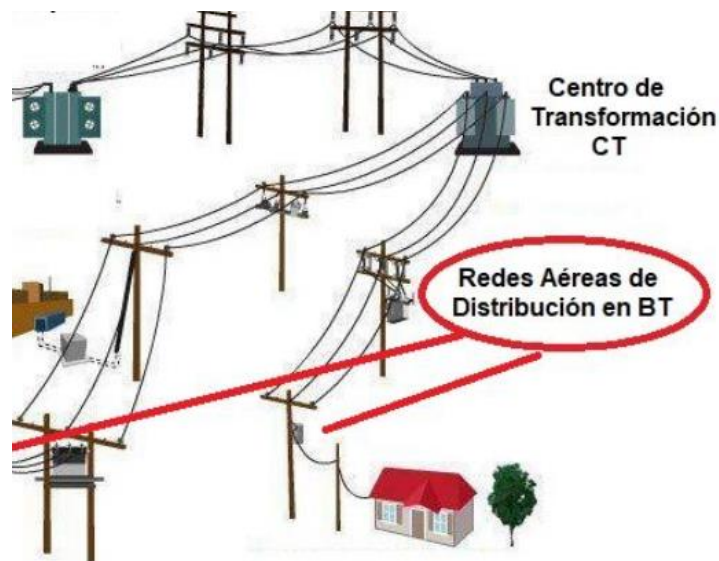
Los sistemas de distribución también integran protecciones destinadas a garantizar tanto la seguridad como la continuidad del servicio. Entre estas protecciones se incluyen fusibles, relés y interruptores termomagnéticos, diseñados para detectar y aislar fallas. Las redes de media tensión, que abarcan un rango entre 1 kV y 36 kV, son las más comunes en áreas urbanas, mientras que en zonas rurales predominan las redes de baja tensión. La topología de la red puede ser radial, en

anillo o mallada, en función de la confiabilidad requerida. La selección de conductores, aisladores y soportes debe tener en cuenta tanto factores ambientales como mecánicos para asegurar su durabilidad. (Saadat, H., 2010, pp. 156-180).

Los medidores de energía, especialmente los inteligentes (AMI), son clave para registrar el consumo, permitir lecturas remotas y detectar fraudes. Además, sistemas como microrredes y generación distribuida (paneles solares, turbinas eólicas) se integran a las redes, requiriendo inversores y controles avanzados para gestionar la energía inyectada a la red.

La normativa técnica, incluyendo normas como las IEC y IEEE, establece estándares para el diseño y operación de estos sistemas. La eficiencia energética y la reducción de pérdidas son prioridades fundamentales en el desarrollo de redes modernas (Willis & Scott, 2000). Finalmente, el mantenimiento predictivo y preventivo resulta esencial para garantizar la vida útil de los componentes.

Técnicas como la termografía y el análisis de vibraciones permiten detectar fallas tempranas en equipos eléctricos, mientras que la planificación de la distribución debe integrar el crecimiento de la demanda y la incorporación de energías renovables para garantizar un sistema eficiente y sostenible.



**Figura 2 Sistema de distribución**

Fuente: (Área tecnología)

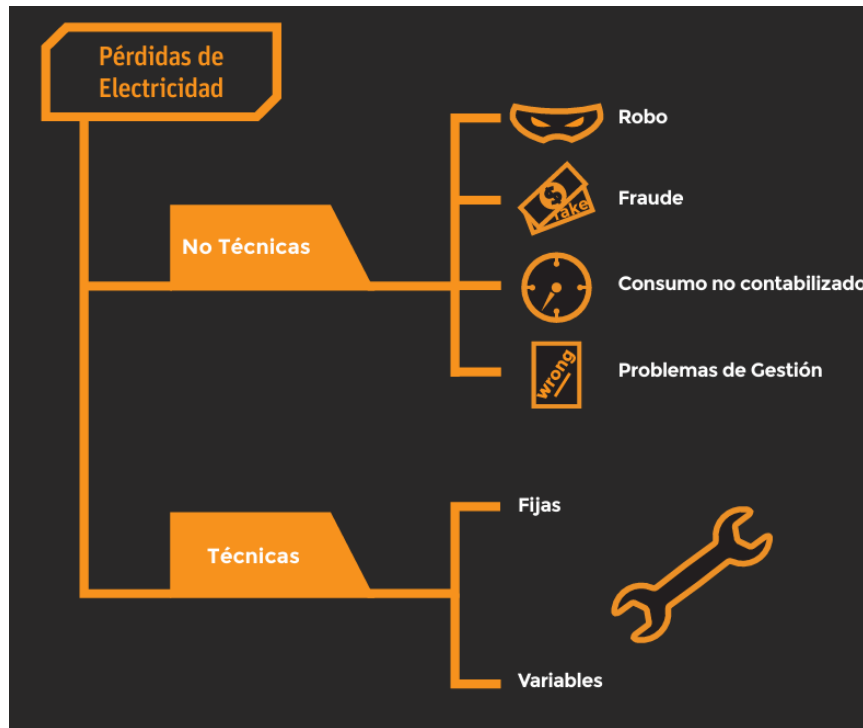
## 2.2.2 PERDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS

Las pérdidas técnicas en los sistemas eléctricos son inherentes al proceso de transmisión y distribución, originadas por fenómenos físicos como la resistencia de los conductores, corrientes de fuga y pérdidas en transformación. Su cálculo se basa en principios como la ley de Joule, donde la energía disipada como calor es proporcional al cuadrado de la corriente y a la resistencia del material.

Estas pérdidas pueden agravarse por factores operativos, como sobrecargas en transformadores, equipos de baja calidad o líneas de distribución extensas. Su impacto no solo reduce la eficiencia energética, sino que también incrementa los costos operativos y afecta la calidad del suministro eléctrico.

En contraposición, las pérdidas no técnicas resultan de factores ajenos al sistema, incluyendo el fraude energético, los errores de medición y las conexiones ilegales. Estas actividades no solo ocasionan pérdidas económicas para las empresas distribuidoras, sino que también pueden poner en riesgo la seguridad de la red y la calidad del servicio.

La comprensión y cuantificación de estas pérdidas es de suma importancia para el desarrollo de estrategias que permitan mitigar su impacto y optimizar la eficiencia del sistema. Para abordar estas problemáticas, resulta imperativo implementar medidas que contemplen la modernización de los sistemas de medición, la realización de inspecciones periódicas y la iniciativa de campañas de concientización entre los usuarios. (Raúl Jiménez, Tomás Serebrisky, Jorge Mercado, 2014 pp.26).



**Figura 3 Clasificación de pérdidas**

Fuente: (Electricidad perdida)

### 2.2.3 REDES INTELIGENTES

Podemos definir a una red inteligente como un sistema de sistemas donde existen diferentes capas de redes inteligentes que juntas crean una gran red. Entre otras cosas las redes inteligentes logran gestionar la facturación de la energía, revisar en tiempo real las curvas de consumo, detectar las interrupciones del servicio, monitorear la calidad del suministro de electricidad, la confiabilidad de la potencia suministrada, la clasificación de los armónicos y ejercer un control remoto sobre el sistema. (Rommel Alexis Barragán, José Napoleón Chávez, Jaime Ángel Armendáriz, Milton Xavier Remache, 2023, Sistemas eléctricos inteligentes Smart Grid y su incidencia en el sistema nacional interconectado)

#### 2.2.3.1 ELEMENTOS EN UNA RED INTELIGENTE (SMART GRID)

Los medidores inteligentes son dispositivos avanzados que registran el consumo energético en tiempo real, permitiendo a usuarios y distribuidoras monitorear patrones de uso y optimizar la

demanda. Además de facilitar una facturación más precisa, estos equipos reducen pérdidas por errores de medición y detectan fallas en la red mediante análisis de datos detallados.

Los sensores y actuadores son componentes clave en las redes inteligentes, ya que recopilan información en tiempo real sobre variables críticas como voltaje, corriente y temperatura. Esta capacidad permite realizar ajustes automáticos para mantener la estabilidad del sistema eléctrico.

Estos dispositivos están integrados en subestaciones, líneas de distribución y generadores, trabajando de forma coordinada con sistemas de control avanzados. Su función es esencial para prevenir sobrecargas y cortes de suministro, mejorando así la eficiencia y confiabilidad de la red. (Farhangi, 2014, pp 74).

Los sistemas de comunicación constituyen la columna vertebral de las redes eléctricas inteligentes, utilizando tecnologías avanzadas como fibra óptica, redes celulares (5G) y PLC (Power Line Communication) para transmitir datos entre medidores, sensores y centros de control. Esta infraestructura asegura una gestión eficiente del sistema y proporciona una respuesta rápida ante cualquier eventualidad. A la par, la integración de fuentes de energía renovable, tales como solar, eólica y biomasa, contribuye a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la intermitencia inherente a estas fuentes requiere la implementación de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías de ion-litio, volantes de inercia y supercapacitores, los cuales almacenan excedentes de generación para ser utilizados en períodos de alta demanda o baja producción. Estas plataformas permiten la aplicación de estrategias como la gestión de la demanda, incentivando a los usuarios a modificar su consumo durante las horas pico. (Amin & Giacomoni, 2012, pp 95)

#### 2.2.3.2 VENTAJAS DE LAS REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS)

Las redes eléctricas inteligentes optimizan el uso de energía mediante un monitoreo constante del flujo eléctrico, detectando y corrigiendo ineficiencias en tiempo real. Esta capacidad transforma la gestión energética, permitiendo una distribución más eficiente y adaptativa a las necesidades variables del sistema.

La integración de medidores avanzados y sistemas de automatización reduce considerablemente las pérdidas técnicas y no técnicas. Estos componentes tecnológicos

proporcionan datos precisos que facilitan la toma de decisiones operativas, mejorando la calidad del servicio eléctrico.

La automatización de lecturas elimina los costos asociados a la medición manual, aumentando la eficiencia operativa. Esta innovación no solo optimiza recursos, sino que también establece nuevas bases para la gestión moderna de redes eléctricas. (Gungor et al., 2013, pp. 1905).

Las smart grids facilitan la integración masiva de fuentes renovables intermitentes a través de sistemas avanzados de predicción meteorológica y gestionan de manera dinámica la generación distribuida. Al combinar la energía solar, eólica y otros recursos distribuidos con sistemas de almacenamiento, se establece una red eléctrica más limpia y sostenible. La posibilidad de equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real permite maximizar el uso de energías limpias mientras se asegura la confiabilidad del suministro, lo que resulta en una reducción significativa de la huella de carbono del sector eléctrico (Bollen & Hassan, 2011, pp. 115).

La automatización avanzada permite la detección y el aislamiento de fallas en cuestión de segundos. Dispositivos como reconectores automáticos y sistemas de autosanación son capaces de restablecer el servicio sin intervención humana en la mayoría de los casos. Además, los reguladores de voltaje inteligentes mantienen los parámetros eléctricos dentro de rangos óptimos, protegiendo así a los equipos sensibles y mejorando la experiencia del usuario (Farhangi, 2014, pp. 68-72).

#### 2.2.4 GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La generación distribuida (GD) se define como la producción de energía eléctrica en proximidad al punto de consumo, en lugar de depender exclusivamente de grandes plantas generadoras y de amplias redes de transmisión. Este modelo descentralizado abarca diversas tecnologías, tales como paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores de biomasa y sistemas de cogeneración. La GD proporciona múltiples ventajas, destacando la disminución de las pérdidas en la transmisión, la mejora en la eficiencia energética, y la integración de fuentes renovables. Además, capacita a los consumidores para convertirse en "prosumidores", es decir, tanto productores como consumidores de energía, lo cual promueve una participación activa en el sistema eléctrico. No obstante, su implementación demanda ajustes en la infraestructura de la red y en los marcos regulatorios, con el objetivo de asegurar su viabilidad y sostenibilidad. (Diego Richard Ayala, Yudin Vallejo, 2023)

Las tecnologías asociadas a la generación distribuida comprenden una variada gama de sistemas, que van desde instalaciones solares de pequeña escala en techos hasta microturbinas y sistemas de almacenamiento de energía. La energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las opciones más populares, dadas su escalabilidad y la reducción de costos en los últimos años. Asimismo, la energía eólica distribuida se presenta como una alternativa viable en regiones con recursos eólicos apropiados. Adicionalmente, los sistemas de cogeneración, que producen simultáneamente electricidad y calor, demuestran ser eficientes para aplicaciones en entornos industriales y comerciales. Estas tecnologías no solo contribuyen a la diversificación de la matriz energética, sino que también fortalecen la resiliencia del sistema eléctrico al mitigar la dependencia de grandes centrales generadoras.

#### 2.2.4.1 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La GD aporta beneficios en términos económicos, ambientales y sociales. Desde una perspectiva económica, contribuye a la reducción de los costos asociados a la transmisión y distribución de energía al generar electricidad en proximidad al consumo. Además, puede disminuir la factura eléctrica de los consumidores a través de sistemas de medición neta. En el ámbito ambiental, promueve el uso de energías renovables, favoreciendo la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de la huella de carbono. En términos sociales, la GD mejora el acceso a la energía en regiones remotas o aisladas, donde la extensión de la red centralizada es inviable.

#### 2.2.4.2 APLICACIONES Y FUTURO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La GD presenta aplicaciones en diversos sectores, incluyendo el residencial, comercial, industrial y rural. En entornos urbanos, los sistemas solares instalados en techos y la cogeneración en los edificios alcanzan una creciente prevalencia. En áreas rurales, la GD puede facilitar el acceso a energía en zonas donde la red centralizada no está disponible, lo que mejora tanto la calidad de vida como el desarrollo económico de dichas regiones. El futuro de la GD está interrelacionado con el concepto de redes inteligentes (Smart Grids), que habilitarán una gestión más eficiente de la energía generada localmente. Con políticas adecuadas y respaldo financiero, la generación distribuida podría convertirse en un elemento fundamental de los sistemas energéticos del futuro, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia del sector energético.



**Figura 4 Generación distribuida**

Fuente: (Softtek)

## 2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO

Para el presente análisis, se han identificado dos teorías fundamentales que forman un marco teórico congruente y bien estructurado, la teoría de sistemas complejos y la teoría de gestión de la innovación tecnológica. Estas teorías constituyen una base robusta y confiable para la concepción e implementación de soluciones avanzadas y efectivas dentro del sistema de distribución eléctrica moderno, facilitando la atención de problemas críticos tales como la disminución de pérdidas, tanto las técnicas como las no técnicas, la integración efectiva de fuentes de energía renovables y la optimización de la calidad del servicio ofrecido a los usuarios.

### 2.3.1 BASES TEÓRICAS

#### 2.3.1.1 TEORIA DE SISTEMAS COMPLEJOS

La teoría de sistemas complejos proporciona el marco teórico idóneo para comprender y gestionar la modernización del sistema eléctrico hondureño, al abordar su naturaleza dinámica, no lineal y adaptativa. Las redes inteligentes (*Smart grids*) son un claro ejemplo de sistema complejo, donde la interacción entre medidores AMI, sistemas SCADA, generación distribuida y usuarios finales.

Interconexión y adaptabilidad: La implementación de medidores inteligentes y

automatización creará flujos bidireccionales de datos y energía, permitiendo que el sistema reconfigure dinámicamente su operación ante fallos o picos de demanda

La red modernizada desarrollará capacidades de autodiagnóstico (detección temprana de fraudes o fallas técnicas) y retroalimentación adaptativa (ajuste automático de voltajes), propiedades típicas de sistemas complejos.

Adicionalmente, esta teoría resulta pertinente para modelar escenarios de integración de energías renovables, dada la naturaleza variable y dinámica de la generación solar o eólica, que requiere una gestión continua y dinámica de los recursos energéticos disponibles.

### 2.3.1.2 TEORÍA DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

La teoría de gestión de la innovación tecnológica proporciona un marco comprensivo y detallado para el entendimiento de cómo las nuevas tecnologías pueden ser adoptadas, implementadas y gestionadas eficazmente en el sector eléctrico contemporáneo. Este enfoque subraya la relevante importancia de los procesos de innovación, la necesaria adaptación organizacional y el establecimiento de un ecosistema favorable que promueva la aceptación y adopción de tecnologías avanzadas.

En el contexto actual de las Smart Grids, la adopción de innovadoras tecnologías como IoT (Internet de las Cosas) y sistemas de almacenamiento de energía no solo implica significativas inversiones en infraestructura, sino que también requiere fundamentales transformaciones en la cultura organizacional, capacitación constante del personal, y una colaboración efectiva entre actores del sector público y privado. Además, esta teoría enfatiza la trascendente importancia de los marcos regulatorios y las políticas públicas que promuevan activamente la integración de tecnologías inteligentes, así como la necesidad de evaluar y analizar sus impactos económicos y sociales de manera continua. Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012).

La combinación armónica de estas dos teorías permite abordar de forma integral y efectiva las problemáticas inherentes al sistema de distribución eléctrica actual. La teoría de sistemas complejos proporciona herramientas necesarias y efectivas para modelar y optimizar la operación compleja de la red eléctrica; la teoría de gestión de la innovación tecnológica ofrece un marco amplio y adecuado para la implementación y gestión efectiva de nuevas tecnologías en el sector. En conjunto, estas teorías facilitan el diseño de una propuesta integral y bien fundamentada para

redes inteligentes que no solo busca mejorar la eficiencia técnica del sistema, sino que también promueve la sostenibilidad y la participación de los usuarios, volviéndose particularmente relevante para resolver cuestiones críticas tales como la reducción de pérdidas energéticas y la optimización del servicio en el sistema de distribución eléctrica.

El proyecto demostrará que la adopción escalonada de medidores AMI en los circuitos con mayor pedidas técnicas y no técnicas, validando la estrategia de *innovación incremental*. Este enfoque minimiza riesgos financieros y técnicos, permitiendo ajustes antes de escalar a nivel nacional. Los datos del piloto servirán como evidencia para justificar inversiones mayores y actualizar normativas

### 2.3.2 METODOLOGÍAS DESARROLLADAS

#### 2.3.2.1 METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

En el contexto de la gestión de la innovación, Rogers (2003) introdujo una metodología fundamentada en la difusión de innovaciones, que ha sido utilizada por numerosos investigadores para estudiar la adopción de tecnologías inteligentes en el sector eléctrico. Por ejemplo, Chesbrough (2003) aplicó el concepto de innovación abierta para promover la colaboración entre empresas, universidades y gobiernos en la implementación de Smart Grids. Esta metodología implica identificar barreras organizacionales y culturales, así como fomentar la creación de ecosistemas de innovación que agilicen la adopción de nuevas tecnologías. Además, Tidd y Bessant (2018) desarrollaron un marco metodológico para gestionar la innovación en entornos complejos, que ha servido para diseñar estrategias de implementación de redes inteligentes en empresas de distribución eléctrica.

#### 2.3.2.2 METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

La integración de energías renovables en redes inteligentes ha sido abordada mediante metodologías que combinan la teoría de sistemas complejos con técnicas de optimización. Lund (2014) propuso una metodología basada en el enfoque de sistemas de energía inteligente (Smart Energy Systems), que incluye el uso de modelos de simulación para evaluar la integración de fuentes renovables y sistemas de almacenamiento en la red eléctrica. Bollen y Hassan (2011) también desarrollaron una metodología enfocada en analizar el impacto de la generación distribuida en la estabilidad de la red, utilizando modelos dinámicos y herramientas de simulación.

### 2.3.2.3 METODOLOGÍA DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS

Para abordar el desafío de las pérdidas en sistemas de distribución, diversos investigadores han desarrollado metodologías que combinan técnicas de análisis de datos con sistemas inteligentes. Momoh (2012) propuso una metodología que se basa en la teoría de sistemas complejos para identificar y minimizar pérdidas técnicas mediante la optimización del diseño de la red y la implementación de dispositivos inteligentes. Por su parte, Brown y Chandler (2008) crearon una metodología centrada en reducir pérdidas no técnicas, que comprende la implantación de medidores inteligentes, la realización de auditorías energéticas y el impulso de campañas de concientización.

## 2.4 MARCO LEGAL

La Ley General de la Industria Eléctrica (LGIE), aprobada mediante el Decreto 404-2013 y publicada el 20 de mayo de 2014 en La Gaceta, regula las actividades del subsector eléctrico en Honduras. Para su aplicación, se creó la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE). Esta ley ha sido modificada en varias ocasiones, destacando el Decreto 46-2022, que introduce reformas para garantizar la energía eléctrica como un bien público de seguridad nacional y un derecho humano de carácter económico y social.

El artículo 15, literal D, de la LGIE obliga a las empresas distribuidoras a comprar el excedente de energía generado por usuarios residenciales y comerciales a partir de fuentes renovables, cuando este sea inyectado de vuelta a la red. Además, establece que dichas empresas deben acreditar el valor correspondiente en la factura mensual del usuario. Esta disposición busca fomentar la generación distribuida y el uso de energías limpias.

Finalmente, la LGIE señala que cada distribuidora debe presentar a la CREE una propuesta de tarifa para la compra de estos excedentes, la cual debe ser aprobada por el ente regulador. Esto garantiza transparencia y equidad en las transacciones, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y acceso a la energía establecidos en la ley.

Mediante acuerdo CREE-25-2022 fue aprobada la Norma Técnica de Usuarios Autoprodutores Residenciales y Comerciales (NT-UAP), la cual fue modificada mediante acuerdo CREE-10-2023. La norma en mención contiene los siguientes temas principales:

a) El procedimiento que todo interesado en constituirse como un Usuario Autoprodutor residencial o comercial deberá desarrollar para obtener la autorización de las Empresas Distribuidoras para la conexión de sus equipos de generación de energía eléctrica con fuentes renovables con el objeto de abastecer su consumo y además el inicio de operación comercial a ser informado por parte de los Usuarios Autoprodutores a las Empresas Distribuidoras. El proceso define tanto las actividades que debe llevar a cabo el usuario, así como las actividades que deben desarrollar las Empresas Distribuidoras para evaluar la solicitud. Los estudios eléctricos que se deben desarrollar por parte de los interesados y los análisis técnicos por parte de las Empresas Distribuidoras a fin de garantizar la correcta operación y seguridad entre las instalaciones del usuario y la red de distribución.

b) La forma de pago de los excedentes de energía provenientes de equipos de generación con fuentes renovables de los usuarios residenciales y comerciales de las Empresas Distribuidoras, asimismo se define la forma en que se valorizarán dichos excedentes.

c) La obligación de las Empresas Distribuidoras de mantener una base de datos actualizada con la información de los Usuarios Autoprodutores conectados a su red eléctrica. La base de datos debe contener como mínimo datos generales del propietario, datos de la instalación, datos de operación y pago de excedentes. Además, se establece la obligación de las Empresas Distribuidoras de entregar a la CREE la información de los Usuarios Autoprodutores conectados a su red.

d) La norma resalta la obligación por parte de las Empresas Distribuidoras de realizar inspecciones periódicas a las nuevas instalaciones para garantizar el buen funcionamiento y operación de estas. (Comisión reguladora de energía eléctrica CREE, 2022, pp. 14)

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA**

#### **3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA**

El componente metodológico es crucial, dado que establece el marco que seguirá el investigador para lograr los objetivos delineados y abordar las preguntas de investigación formuladas. Esta metodología abarca no solo la elección de métodos para la recolección y el análisis de datos, sino también la justificación de dichas elecciones, fundamentadas en el problema de estudio y el enfoque teórico adoptado.

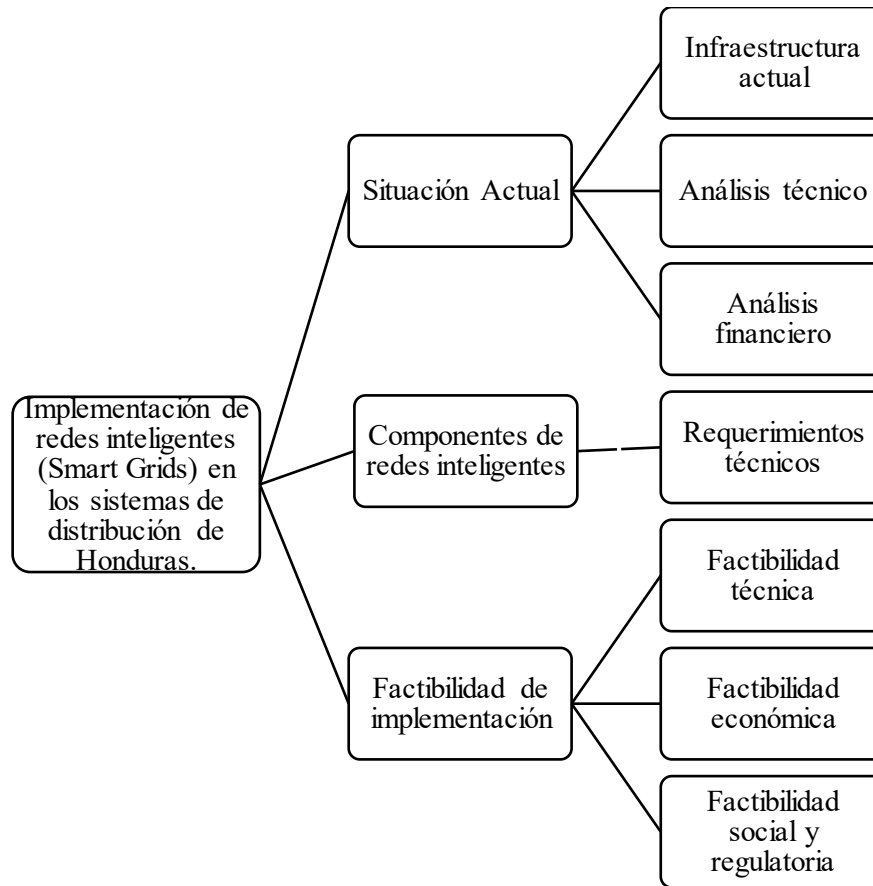
La metodología debe proporcionar una descripción exhaustiva de las técnicas de recolección de datos, como encuestas, entrevistas, observaciones, entre otras; de los instrumentos empleados; del universo o la muestra estudiada; y de los procedimientos de análisis. Una estructura metodológica bien definida no solo asegura la validez y confiabilidad de los resultados, sino que también fomenta el rigor académico en el ámbito de la investigación. (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., 2014).

**Tabla 1 Matriz metodológica**

Título de la investigación	Preguntas de investigación		Objetivos		Metodología	Instrumentos	Variables	Dimensiones		
	General	Específica	General	Específica						
<b>PROPUESTA DE UN DISEÑO PARA UNA IMPLEMENTACIÓN DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA DE HONDURAS</b>	¿cuál es la forma en la que se puede implementar redes inteligentes en el sistema de distribución de la red eléctrica de Honduras?	¿Cuál es el estado actual del sistema de distribución eléctrica en Honduras y cuáles son sus principales deficiencias y oportunidades de mejora?	Elaborar una propuesta de diseño para la implementación de una red inteligente en el sistema de distribución en Honduras, con el fin de mejorar la eficiencia energética, reducir las pérdidas y facilitar la integración de fuentes de energía renovable.	Evaluar el estado actual del sistema de distribución eléctrica en Honduras, identificando sus principales deficiencias y oportunidades de mejora.	Mixta	Revisión de informes técnicos.  QGIS	Situación actual	Infraestructura actual		
									Análisis técnico	
									Análisis financiero	
		¿Cuáles son los componentes y tecnologías fundamentales de una red inteligente (Smart Grid) y cómo pueden ser aplicadas de manera efectiva en el sistema de distribución eléctrica de Honduras?		Analizar los componentes y tecnologías clave de una red inteligente (Smart Grid) y su aplicabilidad en el contexto hondureño.	Mixta	Revisión de informes técnicos, QGIS, Power BI	Componentes de redes inteligentes	Requerimientos técnicos		
	¿Qué estrategias pueden implementarse para reducir las pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema de distribución, mediante el uso de tecnologías de Smart Grid?		Formular estrategias para reducir las pérdidas tanto técnicas como no técnicas en el sistema de distribución, utilizando tecnologías de Smart Grid.	Evaluación técnica	Revisión de informes técnicos, QGIS, Power BI	Factibilidad de implementación	Factibilidad técnica			
										Factibilidad económica
										Factibilidad social y regulatoria

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

### 3.1.2 ESQUEMA DE VARIABLES DE ESTUDIO



**Figura 5** Esquema de variables de estudio

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

### 3.1.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

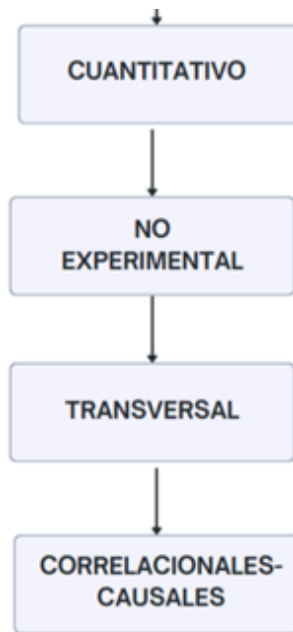
**Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Ítems
Situación Actual	Se refiere a una descripción sobre el entorno, características, factores que influyen en un entorno específico, sin necesariamente implicar una evaluación positiva o negativa.	Mediante un estudio sobre los sistemas de distribución en el país se podrá hacer un levantamiento para tratar todos los puntos de mejora que existan en la red.	Infraestructura Actual	Estado de la red actual
				Cobertura de la red actual
				Frecuencia de interrupciones
			Análisis técnico	Causas de interrupciones en el servicio de la red
				Índice de pérdidas técnicas y no técnicas
				Índice de circuitos con mayor pérdida técnicas y no técnicas
Análisis financiero	Índice de consumo			
	Índice económico de las pérdidas			
Componentes de redes inteligentes	Son los elementos clave que permiten la modernización y optimización de los sistemas eléctricos mediante el uso de tecnología digital y automatización	El uso de equipos como medidores inteligentes, restauradores entre otros ayudarán a la modernización y mejora en los sistemas de distribución y así poder actualizar toda la red para poder definirla como una "Smart Grid".	Requerimientos técnicos	Beneficios de medidores inteligentes
				Porcentaje de medidores sustituidos
				Frecuencia de transmisión de datos
				Dispositivos para automatización de la red
				Métodos de integración de la ER en una red inteligente
				Compatibilidad de sistemas actuales con tecnologías inteligentes
Factibilidad de implementación	Se refiere a la viabilidad de llevar a cabo un proyecto, sistema o estrategia dentro de un contexto específico. Este concepto evalúa si los recursos disponibles, las condiciones técnicas, económicas y operativas permiten que la implementación sea exitosa.	Mediante la factibilidad de implementación se podrán observar y analizar todos los obstáculos que se pueden presentar con la implementación de las "Smart Grid" en los sistemas de distribución en Honduras.	Factibilidad técnica	Capacidad de transmisión en tiempo real
			Factibilidad económica	Capacidades del personal
				Costo de implementación
			Factibilidad social y regulatoria	Normativas y regulaciones nacionales
	Aceptación social			

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

## 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

De manera general, la metodología se clasifica en tipo cuantitativo, este tipo de enfoque se orienta hacia la medición y el análisis numérico. La selección del enfoque adecuado se basa en la naturaleza del problema de investigación, los objetivos establecidos y el tipo de datos necesarios para responder a las interrogantes.



**Figura 6 Enfoque de investigación**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se basará en un diseño no experimental, transversal, correlacional causal.

#### 3.3.1 POBLACIÓN

La población objeto de estudio se define como el total de individuos, elementos o unidades que comparten rasgos similares y que son el foco de análisis en una investigación. Estas características pueden abarcar dimensiones demográficas, geográficas, sociales, técnicas o de otra índole, en función del tipo de investigación que se esté llevando a cabo. En este sentido, la población representa el universo completo del cual se selecciona una muestra para llevar a cabo inferencias o análisis detallados. (Hernández, Fernández y Baptista 2014).

#### 3.3.2 MUESTRA

Una muestra fundamentada en una combinación estratégica de muestreo no probabilístico constituye un enfoque metodológico que integra intencionalmente diversas técnicas de selección no aleatorias, con el propósito de adaptarse a los objetivos específicos de la investigación. Este tipo de muestreo no persigue la representatividad estadística, sino que se enfoca en garantizar la

inclusión de actores clave o grupos de interés mediante criterios predefinidos. Se combinan métodos como el muestreo por conveniencia, que prioriza la accesibilidad; el muestreo por juicio, que elige participantes basándose en su experiencia especializada; y el muestreo por cuotas, que asegura la diversidad en atributos demográficos. Este enfoque es habitual en estudios cualitativos, investigaciones exploratorias o en contextos donde el acceso a una población completa es restringido. (Merriam, S. B. & Tisdell, E. J., 2016, pp. 96-98)

La flexibilidad de este método permite adecuarse a realidades complejas, como en el ámbito de estudios de políticas públicas o evaluaciones de impacto social, teniendo en cuenta que es una población finita se puede aplicar la fórmula para el cálculo del tamaño de la muestra.

Para la obtención de la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p) * N}{E^2 * (N - 1) + Z^2 * p * (1 - p)}$$

*Ecuación 1 Fórmula para el cálculo de una muestra de población finita.*

Donde:

- n= Tamaño de la muestra
- Z= Valor de la distribución normal estándar según el nivel de confianza (1.96 para 95%)
- P= Proporción esperada de la población (si no se conoce se usa 0.5 para máxima variabilidad)
- E= Margen de error (se tomará el 10%)

En cuanto a los datos de población se tomó un estimado de 2,011,751 como clientes de la ENEE. (EL HERALDO, 2024)

A continuación, se muestra el desarrollo para el dato final obtenido:

$$n = \frac{(1.96)^2 * (0.5) * (1 - 0.5) * (2,011,751)}{(0.10)^2 * (2,011,751 - 1) + (1.96)^2 * (0.5) * (1 - 0.5)}$$

$$n = 96$$

Luego de hacer los cálculos se obtuvo que el tamaño de la muestra es de 96 encuestas.

### 3.3.3 TÉCNICAS DE MUESTREO

Para el presente estudio relacionado con la implementación de redes eléctricas inteligentes en Honduras, hemos optado por un enfoque de muestreo no probabilístico que se ajusta de manera óptima a las particularidades y características específicas de nuestro sistema eléctrico nacional. Esta decisión ha sido motivada por la necesidad urgente de adoptar un método práctico y funcional

que facilite el trabajo con los datos y expertos que realmente están a nuestra disposición, en contraposición a la utilización de muestras teóricamente ideales pero inalcanzables. (Patton, M. Q, 2002, pp. 230)

### **3.4 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS**

#### 3.4.1 TÉCNICAS

##### 3.4.1.1 ENTREVISTAS

Por medio de la entrevista podemos hacer preguntas directas e inquietudes puntuales que tengamos sobre algún punto en específico, la principal ventaja de las entrevistas es que obtenemos una respuesta clara y concisa sobre una duda que tengamos. (Moreno-Bayardo, 1987).

##### 3.4.1.2 CUESTIONARIO

El cuestionario nos ayuda a recopilar datos e información de una manera estandarizada y sistemática, por medio del cuestionario podemos obtener información sobre la actualidad de los sistemas de distribución, así como el tiempo que las personas estarían dispuestas a estar sin el servicio de energía eléctrica para poder hacer pruebas e implementar redes inteligentes (Smart Grids).

#### 3.4.2 INSTRUMENTOS

Algunos de los instrumentos que se utilizarán serán:

- Cuestionarios hacia los consumidores finales de energía eléctrica

### **3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN**

Para llevar a cabo este estudio toda la información será recopilada de fuentes primarias y secundarias, así al momento de redactar el informe se obtendrán datos de fuentes relacionadas directamente al tema de estudio, así como opiniones y recomendaciones sobre personas con experiencia en los sistemas de distribución.

#### 3.5.1 FUENTES PRIMARIAS

Las principales fuentes de información se obtendrán las entrevistas que se puedan realizar a personas expertas en sistemas de distribución, así como a personas que manejen el tema de redes

inteligentes (Smart Grids), también las encuestas realizadas a usuarios finales y las observaciones directas que se puedan realizar.

### 3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS

Como fuentes secundarias podemos tomar los registros y estudios existentes de las instituciones encargadas de llevar el suministro de energía eléctrica desde la generación hasta el usuario final, instituciones como la ENEE, CREE, SEN entre otras.

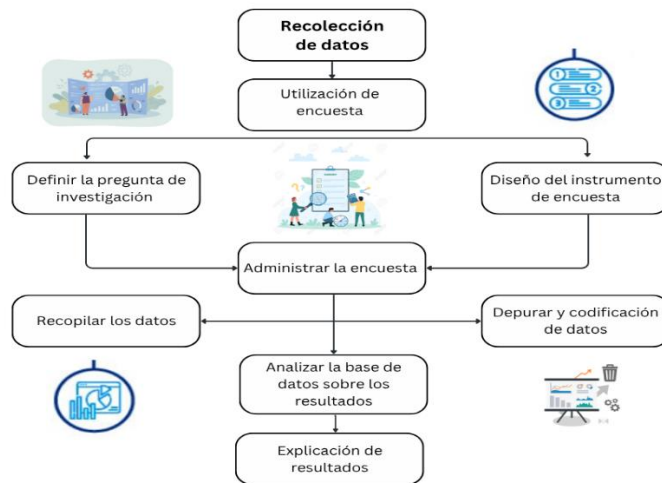
## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

El presente capítulo expone el plan de análisis que guiará nuestra investigación, con el objetivo de establecer la estrategia metodológica para responder a las preguntas planteadas en este estudio, combinó diversas técnicas cuantitativas y cualitativas con el objetivo de evaluar de forma integral una propuesta destinada a implementar redes inteligentes en el sistema de distribución eléctrica de Honduras. Esta metodología fue elegida por su capacidad para proporcionar una visión más amplia y completa del problema en cuestión. Como instrumento principal para llevar a cabo este análisis, se aplicó una encuesta cuidadosamente diseñada a la población de clientes de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Este proceso de recolección de datos fue fundamental para garantizar tanto la validez como la confiabilidad de los resultados obtenidos, permitiendo así identificar las deficiencias del sistema actual y fundamentar las soluciones tecnológicas propuestas en base a evidencias sólidas. En el desarrollo de este capítulo, se analiza el estado actual de la red eléctrica en Honduras, identificando las principales deficiencias que enfrenta, tales como las elevadas pérdidas tanto técnicas como no técnicas, así como la existencia de una infraestructura obsoleta que no responde a las necesidades contemporáneas de la población.

### **4.1 INFORME DE PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

El proceso de recopilación de datos fue llevado a cabo mediante la implementación de encuestas digitales, las cuales fueron dirigidas específicamente a los clientes, tanto residenciales como comerciales, de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) en Honduras. Con este fin, se eligió la plataforma Google Forms, la cual se convirtió en la herramienta principal para el diseño, distribución y gestión del instrumento de investigación, seleccionada por su accesibilidad, facilidad de uso y notable capacidad para generar informes automáticos sobre los datos que fueron recolectados. Este exhaustivo estudio tuvo como objetivo principal analizar dos aspectos fundamentales: en primer lugar, evaluar la percepción actual de los usuarios con respecto a la calidad del servicio eléctrico que reciben, considerando factores relevantes como la frecuencia de interrupciones en el suministro eléctrico, la estabilidad del voltaje que se les proporciona y la eficiencia en la atención a las fallas que se producen; y en segundo lugar, medir el nivel de conocimiento, así como la disposición de los clientes hacia la posible modernización del sistema de distribución mediante la propuesta de implementación de redes inteligentes, smart grids. El cuestionario digital, diseñado de manera que incluyera preguntas cerradas y escalas de Likert, fue

estructurado para ser completado en un tiempo promedio de 7 a 10 minutos, optimizando de esta forma la tasa de respuesta que se esperaba obtener. La adopción de esta metodología digital no solo permitió agilizar el proceso de recolección de datos, sino que también facilitó la obtención de información en tiempo real, la depuración de respuestas inconsistentes y la reducción significativa de los márgenes de error que normalmente se asocian al procesamiento manual de la información, todo ello con el propósito claro de generar resultados confiables y precisos que sean útiles para el análisis el análisis de la propuesta del proyecto de tesis.



**Figura 7 Esquema de recolección de datos**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

## 4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS

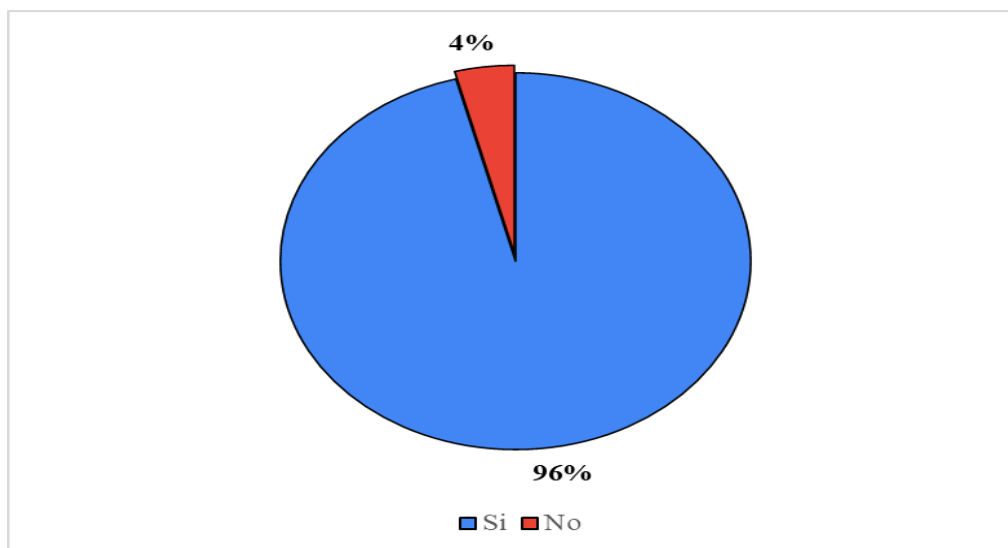
**Tabla 3 Resultados de las encuestas aplicadas**

No	Pregunta	Variable	Resultados			Total
			Opciones	Respuestas	%	
1	¿El área donde vive tiene acceso completo al servicio de energía eléctrica?	Situación actual	Si	94	96	100%
			No	4	4	
2	¿Cómo calificaría el estado general del sistema eléctrico en su zona?	Situación actual	Regular	50	51	100%
			Bueno	29	30	
			Malo	19	19	
3	¿Existen avisos previos de mantenimiento de la red eléctrica por parte de la ENEE en Honduras?	Situación actual	Si	51	52	100%
			No	14	14	
			No lo sé / No me entero	33	34	
4	¿Con qué frecuencia experimenta interrupciones del servicio eléctrico?	Situación actual	Muy Ocasionalmente	48	49	100%
			Mensualmente	27	28	
			Semanalmente	17	17	
			Diariamente	6	6	
5	¿En qué horarios suelen ocurrir con mayor frecuencia estas interrupciones?	Situación actual	Tarde (12:00 a.m. - 6:00 p.m.)	37	38	100%
			Mañana (6:00 a.m. - 12:00 p.m.)	39	40	
			Noche (6:00 p.m. - 12:00 a.m.)	20	20	
			Madrugada (12:00 a.m. - 6:00 a.m.)	2	2	
6	¿Considera que las interrupciones afectan significativamente sus actividades diarias?	Situación actual	Si	53	54	100%
			No	13	13	
			Parcialmente	32	33	
7	¿Cree que las conexiones ilegales (ilícitas) son un problema en su zona o comunidad?	Situación actual	Si	77	79	100%
			No	21	21	
8	¿Considera que esas conexiones ilegales o el mal estado de la red hacen que el recibo de luz sea más caro para todos?	Situación actual	No	50	51	100%
			Si	48	49	
9	En su opinión, ¿Cuáles son las causas más comunes por las que se pierde energía en el sistema?	Situación actual	Sobrecarga en transformadores	59	28	100%
			Falta de mantenimiento periódico	56	26	
			Mal estado o baja calidad de los equipos	57	27	
			Longitud excesiva de líneas de distribución	40	19	
10	¿Tiene conocimiento sobre los beneficios de los medidores inteligentes (dispositivos que registran el consumo de energía en tiempo real y envían la información a la empresa eléctrica)?	Componentes de redes inteligentes	Si	45	46	100%
			No	53	54	
11	¿Tiene instalado un medidor inteligente en su vivienda?	Componentes de redes inteligentes	No	31	32	100%
			Si	25	25	
			No estoy seguro	42	43	
12	¿Cuál de los siguientes beneficios de una red inteligente le parece más relevante? (marque máximo dos)	Componentes de redes inteligentes	Reducción de pérdidas eléctricas	59	30	100%
			Detección y corrección rápida de fallas	64	32	
			Integración de fuentes renovables de energía	39	20	
			Mayor participación del usuario en el consumo	35	18	
13	¿Piensa que invertir en redes inteligentes es prioritario para el sistema eléctrico en Honduras?	Factibilidad de implantación	Si	86	88	100%
			No	12	12	
14	¿Estaría dispuesto a aceptar ajustes temporales en el servicio si se implementa una red más moderna y eficiente?	Factibilidad de implantación	Si	48	49	100%
			No	50	51	
15	¿Estaría dispuesto a pagar una tarifa ligeramente mayor si eso garantiza un sistema eléctrico más confiable, con menos fallas?	Factibilidad de implantación	Si	31	32	100%
			No	67	68	
16	¿Qué nota le pondría la calidad del servicio eléctrico en términos de estabilidad de voltaje (por ejemplo, si se dañan aparatos, bajones o subidas de luz)?	Situación actual	Regular	43	44	100%
			Bueno	44	45	
			Excelente	4	4	
			Malo	7	7	
17	¿Qué tan valioso es para usted que la red eléctrica sea sostenible y resiliente, es decir, que use fuentes limpias y resista apagones? Escala 1-5	Factibilidad de implantación	5	56	57	100%
			4	27	28	
			3	13	13	
			2	2	2	
18	¿Cree que los técnicos y trabajadores del sistema eléctrico están preparados para manejar nuevas tecnologías?	Factibilidad de implantación	No	70	71	100%
			Si	28	29	
19	¿Considera necesario que reciban más capacitación si se va a modernizar el sistema eléctrico?	Factibilidad de implantación	Si	97	99	100%
			No	1	1	

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

#### 4.2.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL INSTRUMENTO

**¿El área donde vive tiene acceso completo al servicio de energía eléctrica.**



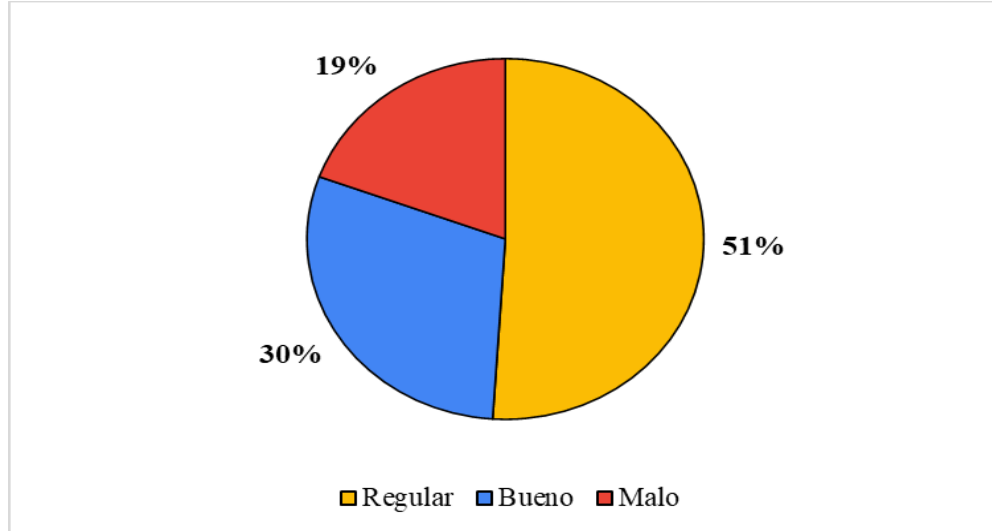
**Gráfico 1 Acceso completo al servicio de energía eléctrica**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Podemos darnos cuenta de que la mayoría cuenta con acceso al servicio de energía eléctrica, sin embargo, hay una minoría del 4% que representa a 4 encuestados los cuales afirman no contar con este servicio, podríamos suponer que estas son personas que viven o han vivido en algún departamento con índice de acceso a la electricidad bajo como podría ser Gracias a Dios, si bien es cierto que este es pequeño en términos porcentuales si lo vemos desde una perspectiva analítica empieza a tener una relevancia importante este dato nos ayuda a darnos cuenta sobre las brechas que pueden existir entre la infraestructura eléctrica de distintos lugares, es muy probable que este 4% sean personas que viven en áreas rurales o de acceso muy complicado para la construcción de circuitos de distribución.

También cabe la posibilidad que hayan accedido a la encuesta por medio de algún canal digital que les compartieran.

## ¿Cómo calificaría el estado general del sistema eléctrico en su zona?



**Gráfico 2 Estado general del sistema eléctrico en su zona**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Se observa que la mitad de los encuestados califican de un servicio regular el suministro de energía eléctrica, se puede especular que son personas que quizás cuentan con un servicio constante mas no fluido esto puede ser por problemas de sobrecargas en los circuitos, transformadores saturados o equipos de medición antiguos.

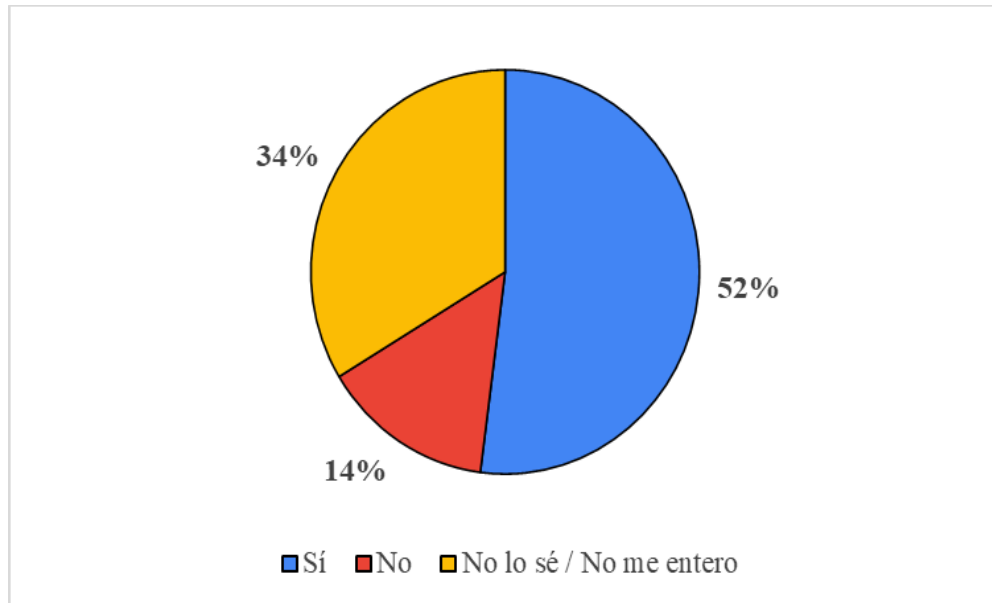
Existe un 30% que dicen que el servicio es bueno, aquí podemos decir que son personas que residen en zonas urbanas consolidadas o que residen cerca de áreas estratégicas como centros médicos, clínicas u hospitales ya que como sabemos estos mencionados anteriormente tienen prioridad en la continuidad del suministro eléctrico.

Finalmente, el 19% de los encuestados percibe el servicio como malo, lo cual podría estar asociado a zonas con infraestructura eléctrica deficiente, tales como circuitos de distribución sobrecargados o redes con alimentadores secundarios muy distantes de los transformadores, como suele suceder en zonas rurales. Estas condiciones técnicas suelen generar interrupciones frecuentes, caída de voltaje y una experiencia general insatisfactoria del servicio.

Se observa que un 70% le dio una calificación regular o mala al servicio de la energía eléctrica lo que deja en evidencia la necesidad de inversión en el sector de energía en general donde se invierta en estructuras, protecciones y tiempos de respuesta, esto le da un respaldo a la idea de

la construcción de las redes inteligentes en los circuitos de distribución en Honduras ya que por medio de estas se pueden reducir pérdidas técnicas y no técnicas por medio de los medidores inteligentes así como poder tener una mejor distribución de cargas en los circuitos de distribución.

### ¿Existen avisos previos de mantenimiento de la red eléctrica por parte de la ENEE en Honduras?



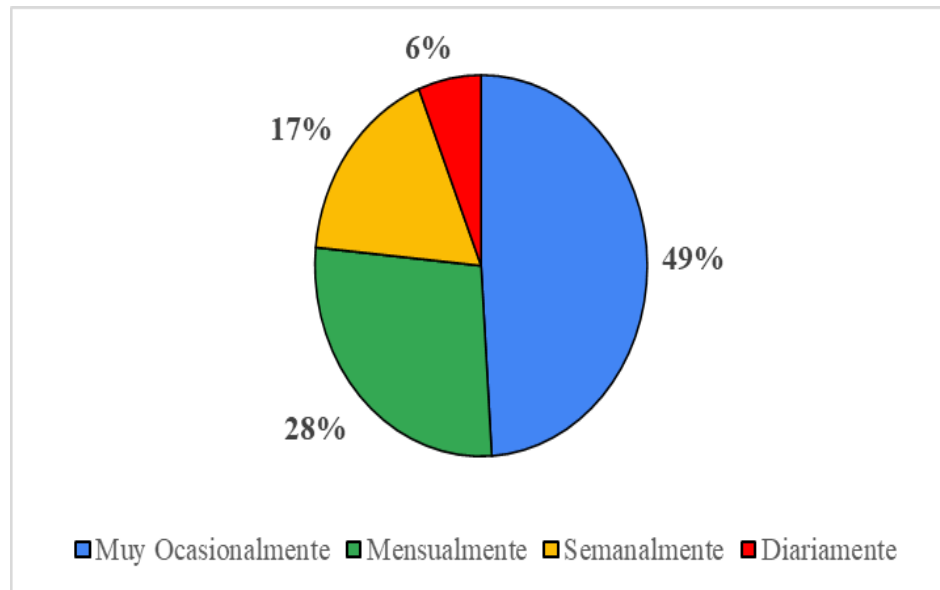
**Gráfico 3 Avisos de mantenimiento a la red eléctrica**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

La mayor parte de los encuestados saben acerca de los mantenimientos que se harán por parte de la ENEE esto puede ser debido a la influencia de las redes sociales ya que en la actualidad hay muchas noticias de las cuales las personas se dan cuenta por medio de las redes sociales, sin embargo existe un 34% de los encuestados que aseguran no estar al tanto de dichos mantenimientos lo que da entender que existe una brecha de desinformación importante esta falta de conocimiento puede estar relacionada con el poco uso de las plataformas digitales, a desinterés general sobre temas de infraestructura eléctrica, o a una deficiente segmentación de la comunicación por parte de la empresa. También, hay un 14% que explícitamente dicen no recibir este tipo de información, lo que puede significar que no hacen seguimiento de las cuentas oficiales de la ENEE.

Desde el punto de vista técnico, en un sistema de distribución moderno, los avisos de mantenimiento no deberían depender exclusivamente de medios masivos como redes sociales. Una red inteligente permitiría establecer canales de comunicación directa y personalizados con los usuarios, a través de notificaciones automáticas vía aplicaciones móviles, correos electrónicos, mensajes SMS o incluso interfaces conectadas con medidores inteligentes. Esta capacidad de comunicación bidireccional no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también aumenta la confianza y percepción de calidad del servicio.

### ¿Con qué frecuencia experimenta interrupciones del servicio eléctrico?



**Gráfico 4 Interrupciones del servicio**

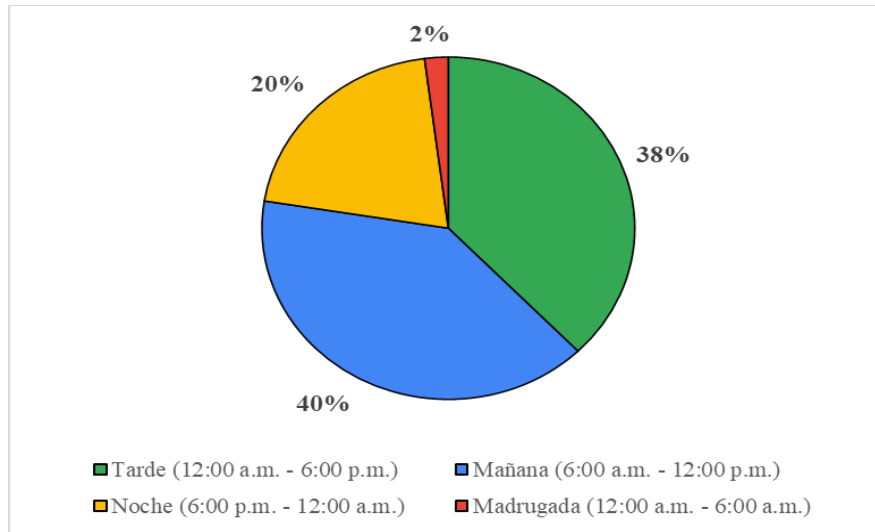
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Un 49% personas dicen tener problemas muy ocasionalmente por lo que podemos entender que estas personas viven en zonas donde los circuitos están bien distribuidos y reciben su mantenimiento en las fechas que corresponden. sin embargo, existe un 51% de usuarios encuestados que dicen sufrir de interrupciones mensuales e incluso diarias, esto nos puede indicar la deficiencia estructural en los circuitos de distribución, estas interrupciones suelen estar relacionadas con infraestructura vieja, circuitos sobrecargados o una falta de mantenimientos

preventivos.

Si lo analizamos desde el punto de vista de una red inteligente, estos datos nos sugieren la implementación de sistemas de monitoreo y diagnóstico en tiempo real, lo que permitiría a los técnicos detectar fallas, prever sobrecargas en el sistema y realizar acciones correctivas automatizadas antes de que el sistema sea incapacitado.

### ¿En qué horarios suelen ocurrir con mayor frecuencia estas interrupciones?



**Gráfico 5 Horarios con mayor frecuencia de interrupciones**

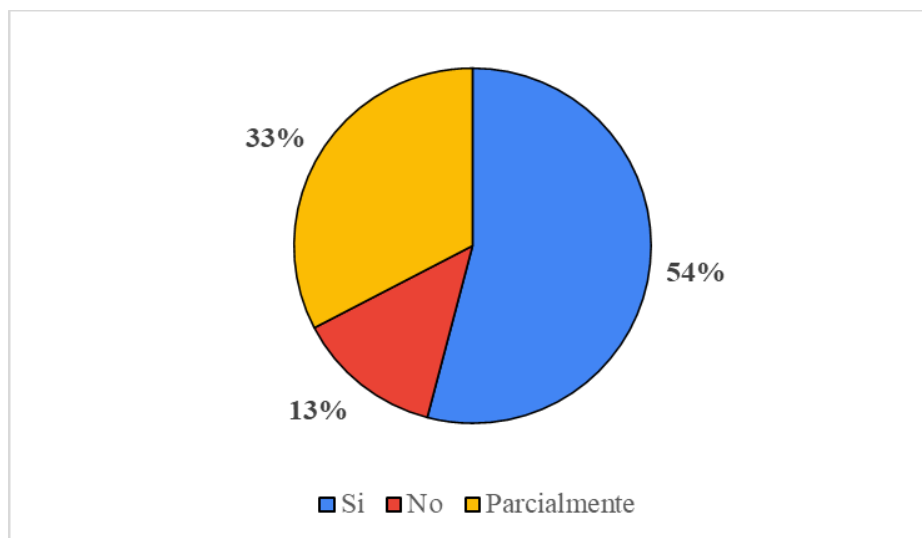
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Las interrupciones del servicio eléctrico se distribuyen en distintos horarios del día, con una mayor concentración en las franjas matutina y vespertina, según lo reportado por una parte significativa y prácticamente equitativa de los encuestados. Esto puede ser debido a que son horas en las que el clima está a altas temperaturas y esto muchas veces genera problemas en los transformadores y circuitos de distribución, además que se eleva el uso de sistemas de enfriamiento (ventiladores, aires acondicionados, refrigeración industrial), generando así un incremento en la demanda energética que puede sobrecargar transformadores y circuitos de distribución, especialmente aquellos que ya presentan debilidades estructurales.

La otra parte se divide en la noche y madrugada estas pueden ser personas que quizá vivan en zonas residenciales de alta demanda por lo que en la noche los circuitos se empiezan a sobrecargar.

Además, a nivel nacional, en diferentes periodos se han implementado en Honduras planes de racionamiento de energía con el fin de regular la demanda y prevenir fallas masivas en el sistema eléctrico. Por lo general, estos racionamientos se programan en horas pico, lo que coincide con las franjas matutina y vespertina, y contribuye a que en dichos horarios se registren más interrupciones del servicio percibidas por la población.

**¿Considera que las interrupciones afectan significativamente sus actividades diarias?**



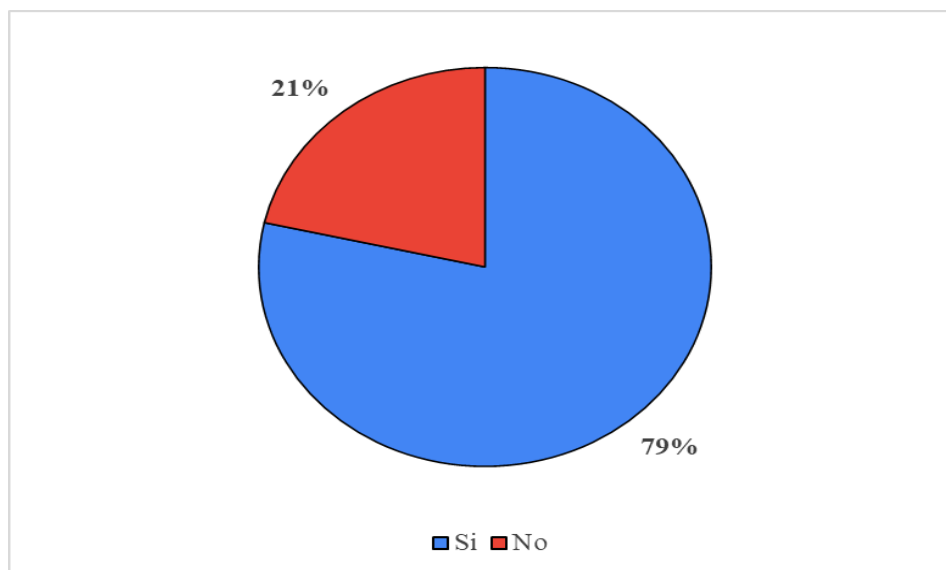
**Gráfico 6 Afectación por las interrupciones de energía**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Los resultados de la encuesta revelan que un 54% de los encuestados dice verse afectados por los cortes de energía. Este dato es particularmente relevante, ya que muestra el grado de dependencia directa que tiene una parte considerable de la población respecto al suministro continuo de energía. Es probable que muchos de estos usuarios se dediquen a actividades económicas en las cuales carecen de sistemas de respaldo como generadores eléctricos. En estos contextos, cualquier interrupción del suministro se traduce directamente en pérdidas económicas, deterioro de productos perecederos y reducción de productividad. Mientras tanto, el 13% de los encuestado dicen que no les afecta por lo que se podría deducir que pueden ser personas que trabajen en oficinas o lugares donde cuenten con generadores eléctricos y por último, a los que les afecta parcialmente quizá son personas cuya movilidad diaria reduce su exposición a los cortes o cuyas actividades no dependen completamente de dispositivos eléctricos, aunque sí perciben

molestias ocasionales.

**¿Cree que las conexiones ilegales (ilícitas) son un problema en su zona o comunidad?**



**Gráfico 7 Conexiones ilegales**

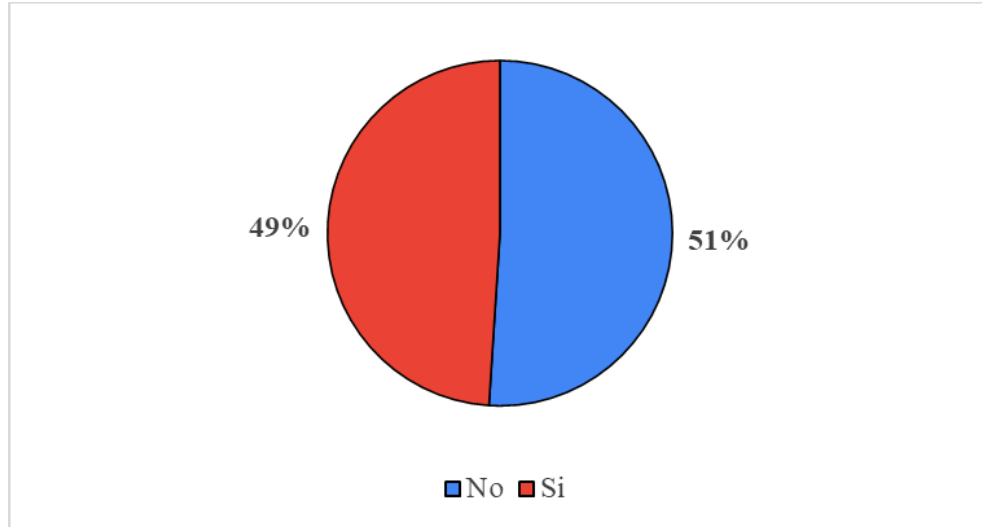
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Las conexiones ilegales son problemas que se dan en la mayoría de los lugares del país por lo que casi todas las personas saben que este es un problema serio como se puede observar en los resultados de la encuesta.

Este fenómeno es ampliamente conocido en Honduras y constituye una de las principales causas de pérdidas no técnicas, que afectan directamente la estabilidad financiera y operativa de la empresa distribuidora, en este caso, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Las conexiones ilegales sobrecargan los circuitos de distribución, incrementan el riesgo de fallas, reducen la calidad del suministro para los usuarios legales y contribuyen a la inseguridad eléctrica (por riesgo de incendios, electrocuciones o daños a electrodomésticos). Esta problemática representa un obstáculo estructural para la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema.

Sin embargo, un 21% de las personas encuestadas dicen que las conexiones ilegales no son un problema de su comunidad estas pueden ser personas que vivan en lugares donde recientemente han sido cambiado los medidores o zonas donde personal de la ENEE suele hacer revisiones periódicas, manteniendo un mayor control sobre el consumo y la detección de irregularidades.

**¿Considera que esas conexiones ilegales o el mal estado de la red hacen que el recibo de luz sea más caro para todos?**



**Gráfico 8 Conexiones ilícitas hacen que la energía sea más cara**

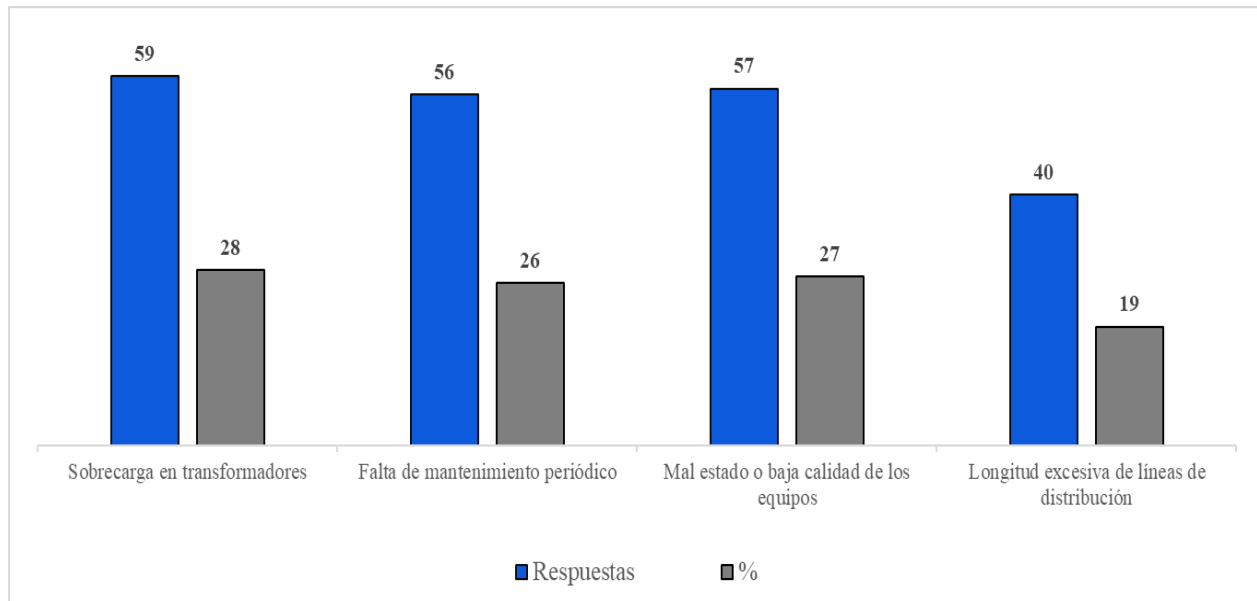
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

En esta pregunta se observa que los encuestados se encuentran divididos casi en partes iguales, recordemos que el consumo de las conexiones ilegales afecta a aquellos usuarios que si pagan legítimamente sus recibos de consumo ya que estas conexiones no se encuentran censadas en los circuitos por lo que no se tiene los datos reales de consumo. Recordemos que las conexiones ilegales y el mal estado de la red generan un aumento en las pérdidas totales del sistema por que la energía que se pierde aquí no es facturada todo esto consumo no facturado al final es trasladado indirectamente al resto de usuarios formales.

La medición exacta de la demanda eléctrica resulta compleja, pues siempre existen consumos que no quedan registrados. Entre ellos destacan las conexiones irregulares, comunes en comunidades de bajos recursos que, ante la falta de acceso formal o la dificultad para asumir los costos del servicio, optan por esta alternativa. Estas conexiones incrementan la carga sobre los circuitos de distribución y transformadores, provocando sobrecalentamiento, fallas más frecuentes y una reducción considerable en la vida útil de los equipos. Esta situación eleva los gastos de mantenimiento y reposición, que tarde o temprano se trasladan a las tarifas pagadas por

los usuarios que cuentan con contrato formal. Frente a este escenario, se vuelve imprescindible una modernización profunda del sistema eléctrico, incorporando tecnologías inteligentes que favorezcan la eficiencia operativa, la equidad en el suministro y la sostenibilidad del servicio en Honduras.

**En su opinión, ¿Cuáles son las causas más comunes por las que se pierde energía en el sistema?**



**Gráfico 9 Causas más comunes por las que se pierde energía**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

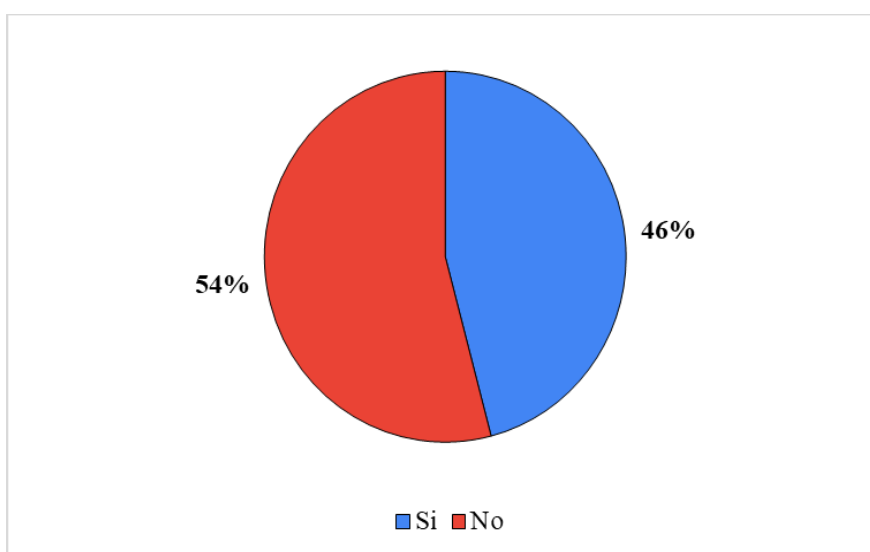
La sobrecarga en los transformadores se origina, en gran medida, por el incremento constante de la demanda en ciertas zonas, donde la capacidad instalada de los transformadores de distribución y de los elevadores en subestaciones no ha crecido al mismo ritmo. Esta falta de adecuación provoca que los equipos trabajen por encima de su límite nominal, lo que eleva su temperatura interna, acelera el desgaste de los sistemas de aislamiento y aumenta el riesgo de fallas.

En relación con la extensión de los circuitos, cabe señalar que en distintos sectores las líneas de distribución abarcan varios kilómetros, y en numerosos casos los conductores primarios y secundarios no cuentan con el calibre adecuado para la distancia y carga que soportan. Esta

condición ocasiona caídas de tensión relevantes y pérdidas técnicas más elevadas.

Por otro lado, la ausencia de un mantenimiento preventivo oportuno constituye un problema relevante, especialmente en equipos como transformadores, interruptores, pararrayos y seccionadoras. No realizar inspecciones ni tareas de mantenimiento planificadas reduce la confiabilidad del sistema y eleva la probabilidad de averías imprevistas.

**¿Tiene conocimiento sobre los beneficios de los medidores inteligentes (dispositivos que registran el consumo de energía en tiempo real y envían la información a la empresa eléctrica)?**



**Gráfico 10 Beneficios de los medidores inteligentes**

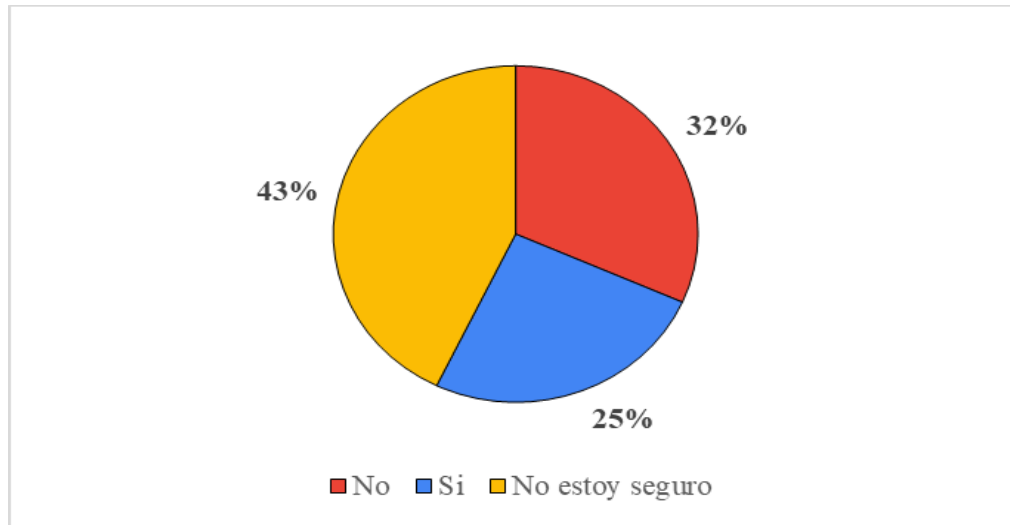
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

En el gráfico podemos ver que un 46% de los encuestados sabe de los beneficios del uso de los medidores inteligentes hoy en día es importante dar charlas a la población en general y que sepan para que funciona estos equipos ya que al final no solo será un beneficio para el estado y la ENEE terminara siendo de gran ayuda para los consumidores finales, el 54% restante dicen no saber de los beneficios de estos. Esta división es significativa, ya que refleja una limitada familiarización del público general con tecnologías clave para la modernización del sistema eléctrico nacional. El desconocimiento expresado por más de la mitad de los encuestados puede deberse a falta de campañas educativas, desinformación o incluso desconfianza hacia los procesos de sustitución de medidores tradicionales. Este fenómeno no es inusual, ya que el proceso de

transición tecnológica en sistemas públicos suele encontrar resistencia social cuando no va acompañado de estrategias de comunicación adecuadas.

Dado que los medidores inteligentes representan uno de los pilares tecnológicos de una red eléctrica inteligente, es crucial que la ENEE y otras instituciones vinculadas impulsen campañas de sensibilización y educación dirigidas a los usuarios.

### ¿Tiene instalado un medidor inteligente en su vivienda?



**Gráfico 11 Medidor instalado en su vivienda**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

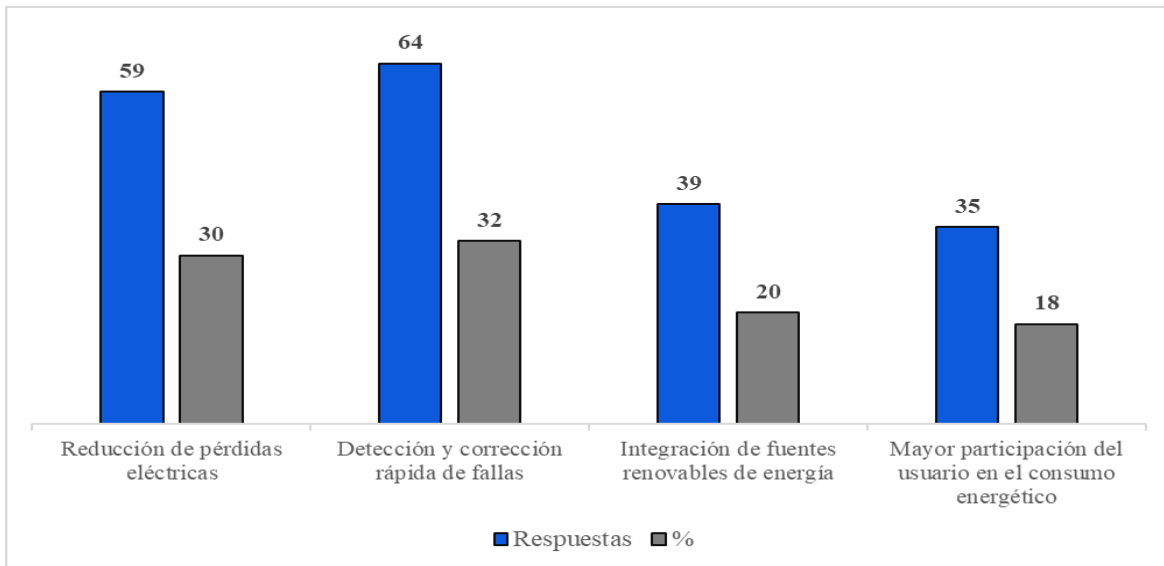
Se obtuvieron resultados con una clara falta de conocimientos en la población de Honduras sobre los medidores inteligentes. El 43% de los encuestados respondió "No estoy seguro", lo que indica una brecha significativa de información, posiblemente debido a una comunicación deficiente por parte de la empresa eléctrica o a la ausencia de campañas educativas. Esta falta de certeza sugiere que una parte importante de la población no ha recibido información clara, accesible y comprensible sobre las características y funciones de estos dispositivos.

Solo el 25% confirmó tener un medidor inteligente, sugiriendo una adopción limitada, probablemente concentrada en zonas urbanas o hogares con mejor acceso a tecnología. El 32% restante respondió "No" lo que podría reflejar tanto la falta de instalación como resistencia al cambio, quizás por desconfianza hacia la tecnología o preocupaciones sobre privacidad y cobros.

El alto porcentaje de incertidumbre resalta la necesidad de mejorar la transparencia y

educación sobre estos dispositivos, especialmente en un contexto donde la modernización de la infraestructura eléctrica es clave. La ENEE y autoridades deben priorizar campañas informativas que expliquen los beneficios de los medidores inteligentes, como mayor precisión en el consumo y reducción de fraudes, para aumentar su aceptación. Sin una estrategia clara de difusión, la implementación de esta tecnología enfrentará obstáculos significativos en su adopción masiva.

**¿Cuál de los siguientes beneficios de una red inteligente le parece más relevante? (marque máximo dos)**



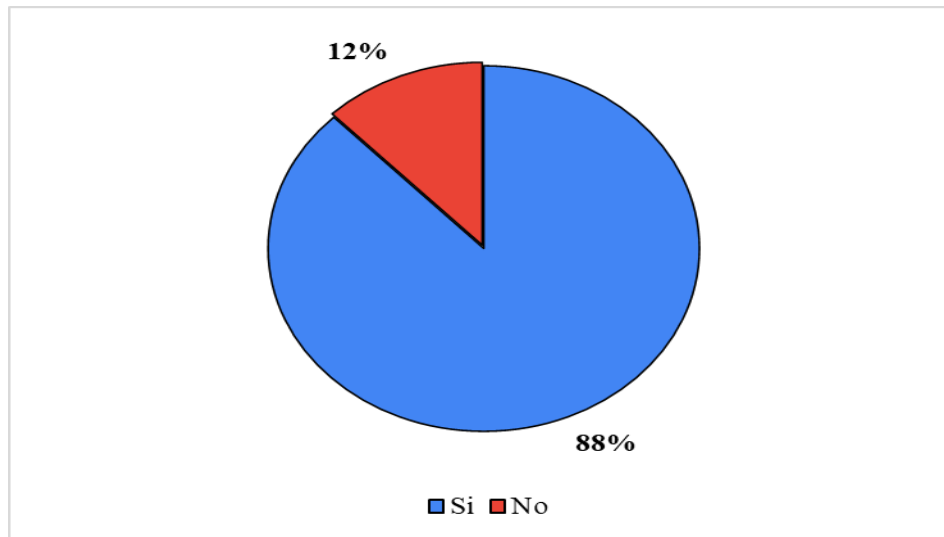
**Gráfico 12 Beneficios de una red inteligente**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

El 32% de las respuestas obtenidas para esta pregunta es sobre la “Detección y corrección rápida de fallas” esto implica un beneficio muy importante debido a la falta de contingencia en las fallas que se dan en los sistemas de distribución, con la propuesta de implementar redes inteligentes, se espera un tiempo de respuesta más rápido. La propuesta de redes inteligentes tiene una respuesta óptima en el tema de reducción de pérdidas técnicas, por ende, el 30% de los encuestados tomaron como segundo gran beneficio la “Reducción de pérdidas eléctricas”. En cambio, beneficios como la "Integración de renovables" (20%) y la "Participación del usuario" (18%) aparecen como secundarios, sugiriendo que, aunque valorados, no son percibidos como prioritarios en el contexto energético hondureño.

Esto implica que las estrategias de implementación deberían enfatizar estos beneficios operativos para generar mayor aceptación, mientras se educa progresivamente sobre las otras ventajas. La brecha entre las respuestas altas y bajas también señala la necesidad de campañas que expliquen el impacto integral de las redes inteligentes.

### **¿Piensa que invertir en redes inteligentes es prioritario para el sistema eléctrico en Honduras?**



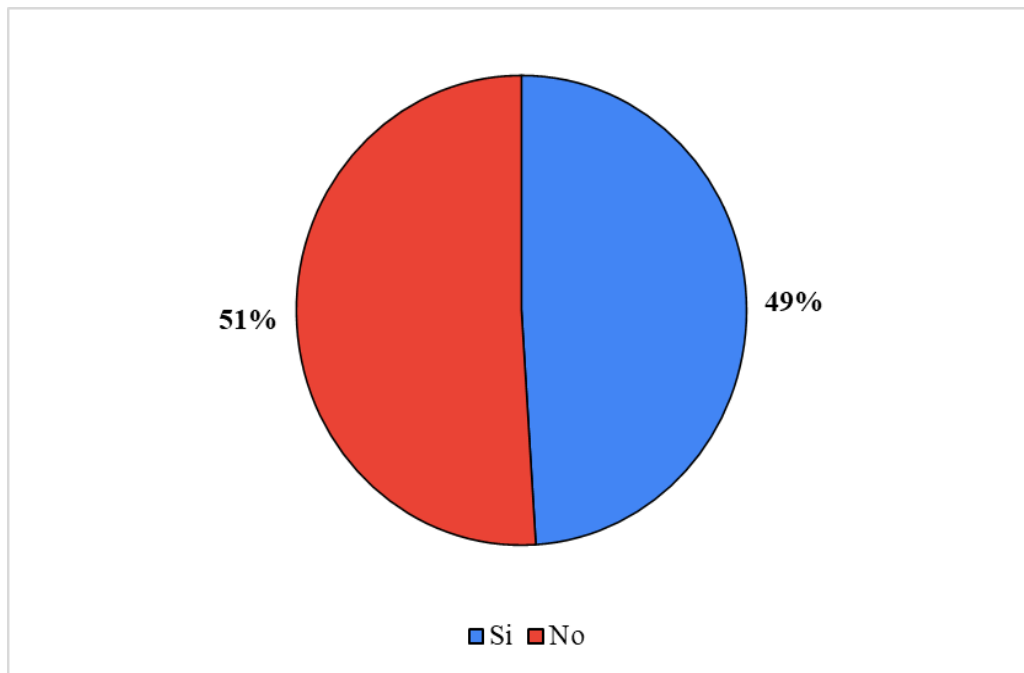
**Gráfico 13 Inversión en redes inteligentes**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Del total de las encuestas el 88% tienen la visión que con un buen plan estratégico la inversión de redes inteligentes. El apoyo mayoritario sugiere que la población reconoce el potencial de estas tecnologías para mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar un servicio más estable. Por otro lado, el 12% en contra podría representar a sectores escépticos por falta de información concreta sobre los beneficios, preocupación por los costos iniciales o desconfianza en la gestión de la empresa ENEE.

Esta división, aunque minoritaria, subraya la importancia de acompañar cualquier proceso de transformación tecnológica con campañas de educación, transparencia y participación ciudadana. La legitimidad del proyecto dependerá no solo de su rentabilidad técnica, sino también de su aceptación social y percepción de equidad.

**¿Estaría dispuesto a aceptar ajustes temporales en el servicio si se implementa una red más moderna y eficiente?**

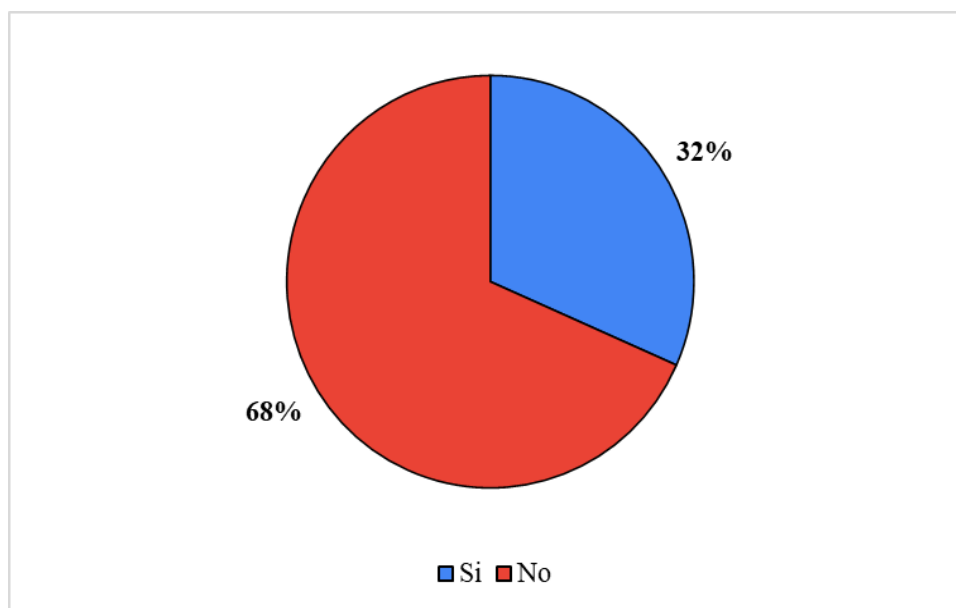


**Gráfico 14 Ajustes temporales en el servicio**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Los resultados muestran una polarización significativa en la opinión pública hondureña respecto a la modernización del sistema eléctrico: el 51% no está dispuesto a aceptar ajustes temporales en el servicio, superando por un estrecho margen al 49% que sí lo aceptaría. Esta división casi perfecta refleja dos posturas claras en la sociedad: por un lado, quienes priorizan la inmediata continuidad del servicio (posiblemente por experiencias previas negativas con interrupciones prolongadas o desconfianza en las promesas de mejora), y por otro, quienes están dispuestos a soportar inconvenientes temporales confiando en beneficios futuros como mayor eficiencia y estabilidad. Esto sugiere que cualquier plan de modernización deberá implementarse con máxima transparencia, comunicación efectiva de los plazos y beneficios, y posiblemente mecanismos compensatorios para los usuarios más afectados, pues el rechazo, aunque mínimo, podría intensificarse si los ajustes se perciben como injustos o prolongados. La casi paridad entre ambas respuestas revela que el éxito de la transición dependerá de qué tan bien se gestionen las expectativas y se demuestren las mejoras en la práctica.

**¿Estaría dispuesto a pagar una tarifa ligeramente mayor si eso garantiza un sistema eléctrico más confiable, con menos fallas?**

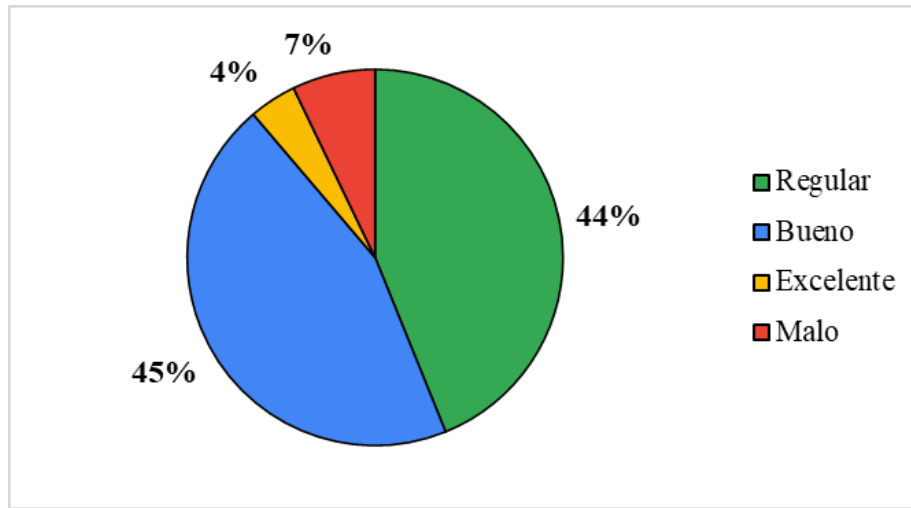


**Gráfico 15 Dispuesto a pagar una tarifa ligeramente mayor**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

La mayor parte de los hondureños que respondieron la encuesta se oponen a la idea de pagar tarifas eléctricas más elevadas a cambio de un servicio más confiable, en contraste con solo el 32% que estaría dispuesto a aceptar dicho incremento. Esta marcada discrepancia de 36% pone de manifiesto una considerable resistencia al aumento del costo del servicio, la cual probablemente se encuentra asociada a factores económicos como el limitado poder adquisitivo de gran parte de la población y a una desconfianza institucional que se traduce en dudas acerca de si el incremento realmente se traducirá en una mejora del servicio. El bajo porcentaje favorable (32%) podría estar relacionado con sectores de la población que poseen una mayor capacidad económica o que han experimentado problemas frecuentes en el suministro eléctrico. La abrumadora preferencia por mantener las tarifas actuales, incluso en el daño de la calidad del servicio, sugiere que cualquier propuesta orientada a la modernización que implique costos adicionales para los usuarios deberá estar respaldada por pruebas tangibles de mejora, complementarse con subsidios para los grupos más vulnerables y asegurar una rigurosa supervisión del uso de los recursos.

**¿Qué nota le pondría la calidad del servicio eléctrico en términos de estabilidad de voltaje (por ejemplo, si se dañan aparatos, bajones o subidas de luz)?**

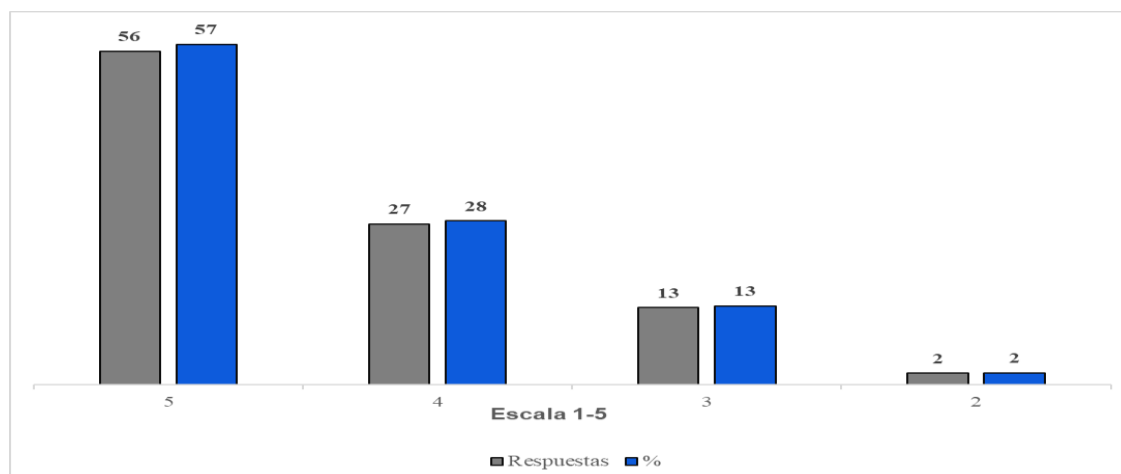


**Gráfico 16 Calidad del servicio eléctrico en términos de estabilidad de voltaje**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Los encuestados tienen una perspectiva que la calidad del servicio eléctrico en Honduras es buena con un 45%, sin embargo, el 44% tienen un panorama que su servicio eléctrico en su área es regular. Toda empresa distribuidora de electricidad busca la excelencia en su servicio, sin embargo, los encuestados tienen un porcentaje bien bajo en el servicio eléctrico de la ENEE solamente con un 4%. El 7% dieron la respuesta que el servicio eléctrico que brinda la ENEE es malo. Estos datos son un llamado urgente a las autoridades para priorizar la modernización de redes, estabilizar el suministro y proteger los equipos de los usuarios.

**¿Qué tan valioso es para usted que la red eléctrica sea sostenible y resiliente, es decir, que use fuentes limpias y resista apagones? Escala 1-5**

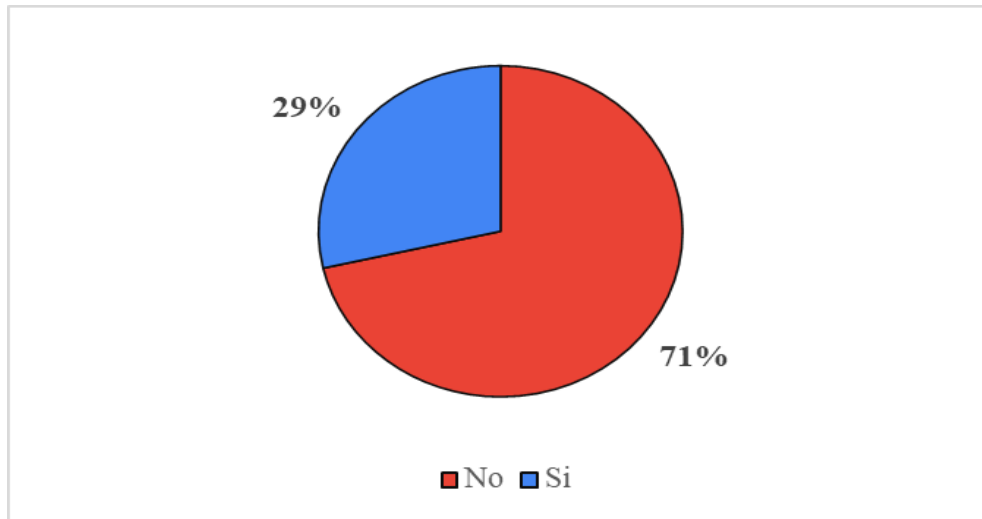


**Gráfico 17 Red eléctrica sostenible y resiliente**

Fuente: (Elaboración Propia,2025)

La distribución de respuestas observada muestra una notable comprensión sobre la relevancia de la sostenibilidad y la capacidad de recuperación ante interrupciones en el suministro eléctrico. Esto puede estar relacionado con experiencias previas de interrupciones en el servicio, así como con un aumento en la preocupación social por el impacto ambiental de la generación de energía. El considerable porcentaje de respuestas en los niveles 4 y 5 apunta a que una parte significativa de la población está dispuesta a respaldar inversiones en energías renovables y en la modernización de la infraestructura, siempre que esos esfuerzos se traduzcan en un servicio más confiable y amigable con el medio ambiente. A pesar de esto, el 15% de las respuestas en niveles medios (2-3) revela la existencia de un grupo que requiere información adicional sobre los beneficios específicos de estas mejoras. Estos hallazgos subrayan la oportunidad disponible para que las autoridades y las empresas del sector eléctrico desarrollen iniciativas de modernización sostenible, comunicando eficientemente las ventajas tanto ecológicas como operativas de estos proyectos para asegurar un apoyo generalizado.

**¿Cree que los técnicos y trabajadores del sistema eléctrico están preparados para manejar nuevas tecnologías?**

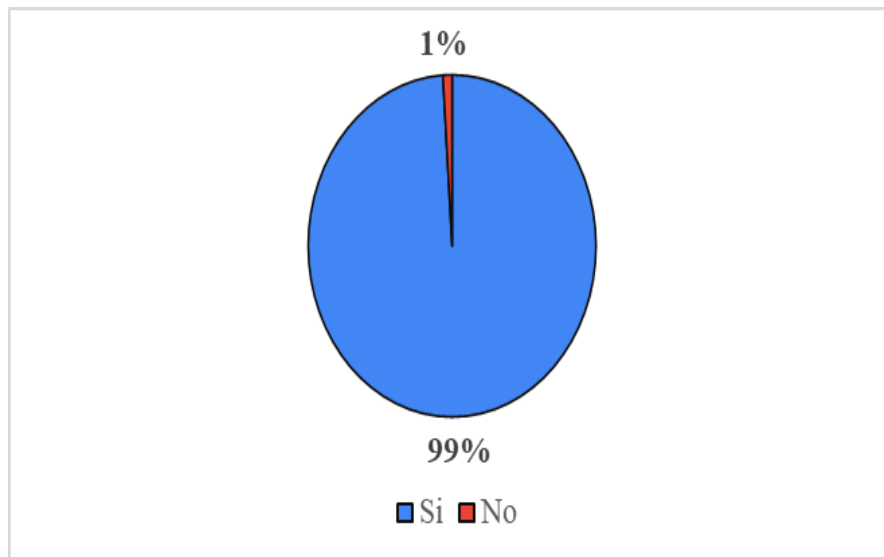


**Gráfico 18 Personal apto para manejar nuevas tecnologías**

Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Los encuestados dieron una respuesta contundente sobre lo que es una propuesta de redes inteligentes en el plantel debido al tipo de tecnología que se debe utilizar. Esa percepción de los encuestados negativa con un 71% puede ser por las experiencias previas con fallas en el servicio, lentitud en reparaciones o falta de actualización visible en los métodos de trabajo. El bajo porcentaje de confianza (29%) podría corresponder a usuarios en zonas con mejor servicio o que han interactuado con personal técnico más calificado. En una propuesta de redes inteligentes en Honduras se debe de invertir en programas de capacitación técnica visible y certificada, junto con campañas que muestren las competencias del personal, para revertir esta percepción y garantizar una transición energética exitosa en Honduras.

**¿Considera necesario que reciban más capacitación si se va a modernizar el sistema eléctrico?**



**Gráfico 19 Capacitación personal**

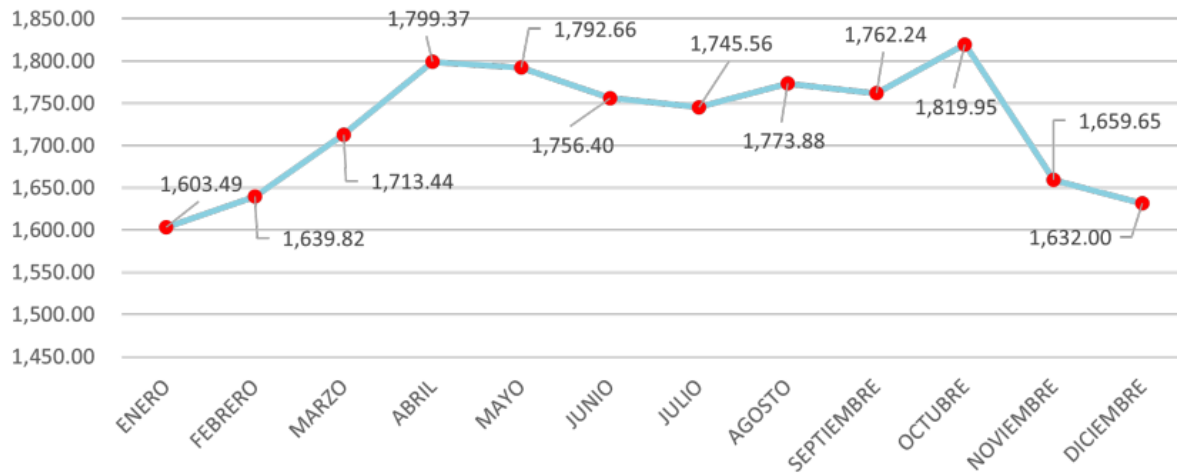
Fuente: (Elaboración Propia, 2025)

Honduras en la implementación de tecnologías nuevas no tiene buena adaptación a ellas, teniendo en cuenta que las redes inteligentes son equipos con una tecnología muy alta. Los encuestados dieron una respuesta contundente con un 99%, con respecto a la capacitación que debe de tener la empresa distribuidora de electricidad en el país si en un futuro se quiera implementar una propuesta de redes inteligentes.

### 4.3 EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE HONDURAS

El sistema eléctrico de Honduras está pasando por un desafío, debido que la demanda en el año 2023 fue de 1,819.95 MW. (Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico Nacional, 2023, pp. 79)

A continuación, se presenta la curva de demanda durante el año 2023

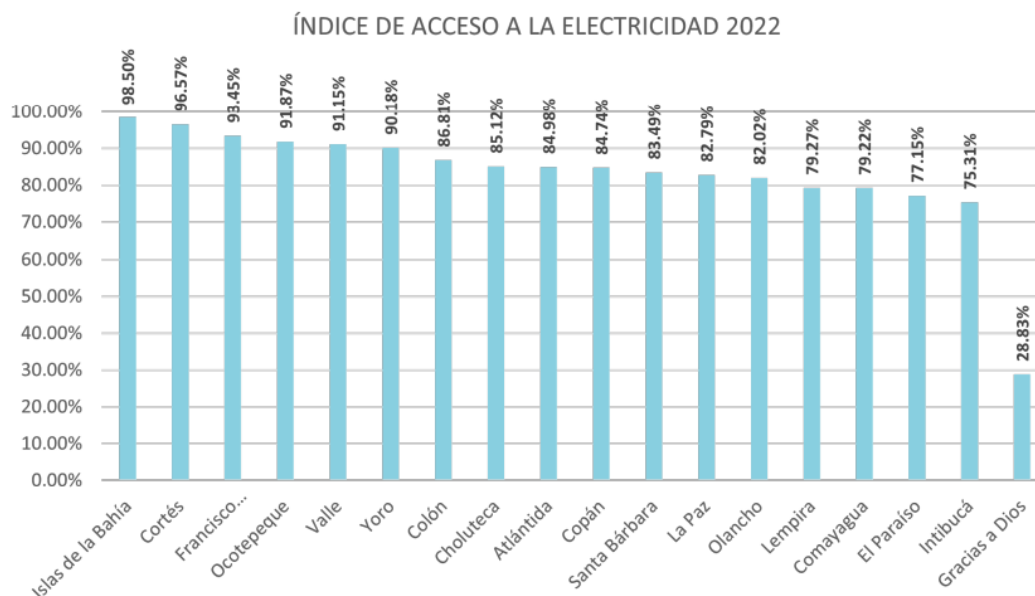


**Gráfico 20 Demanda máxima mensual en Honduras 2023 [MW]**

Fuente: Centro Nacional de Despacho (CND)

El estado actual del sistema de distribución de Honduras se encuentra comprometido a causa de la insuficiencia en el mantenimiento, así como de las pérdidas técnicas y no técnicas, que alcanzan un nivel del 30%. Esta situación es atribuible en gran medida a la existencia de una infraestructura obsoleta, a la falta de mantenimiento en los transformadores de distribución y a problemas relacionados con la medición. (ENEE, 2023).

Un aspecto notable en relación con el estado actual del sistema es el acceso a la electricidad; el índice de acceso a la electricidad (IAE) correspondiente al año 2022 se sitúa en un 87.45% a nivel nacional.

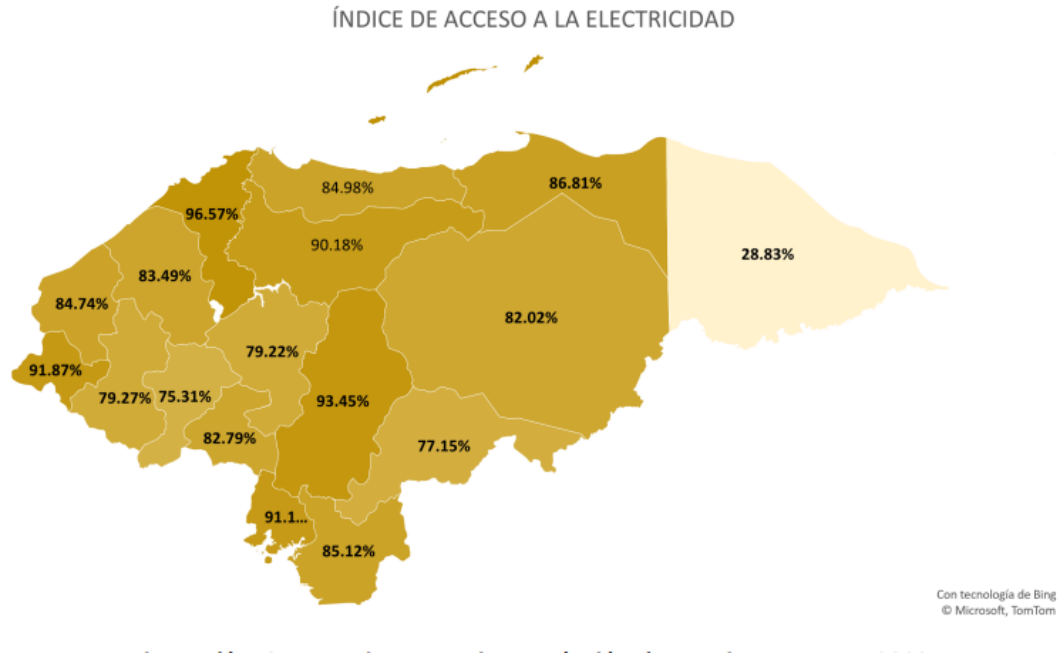


**Gráfico 21 índice de acceso a la electricidad 2022**

Fuente: Unidad de acceso y cobertura eléctrica (SEN)

La región con el mayor índice de acceso a la electricidad es Islas de la Bahía, que presenta un porcentaje del 98.50%, seguida por los departamentos de Cortés y Francisco Morazán, con tasas de acceso del 96.57% y 93.45%, respectivamente. Por su parte, el departamento de Gracias a Dios muestra el índice de acceso más bajo, con un 28.83%. (Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico Nacional, 2023, pp. 72)

A continuación, se presenta un mapa que ilustra la cobertura eléctrica por departamento en Honduras para el año 2022; los departamentos que aparecen representados en un tono más oscuro indican una mayor cobertura eléctrica.

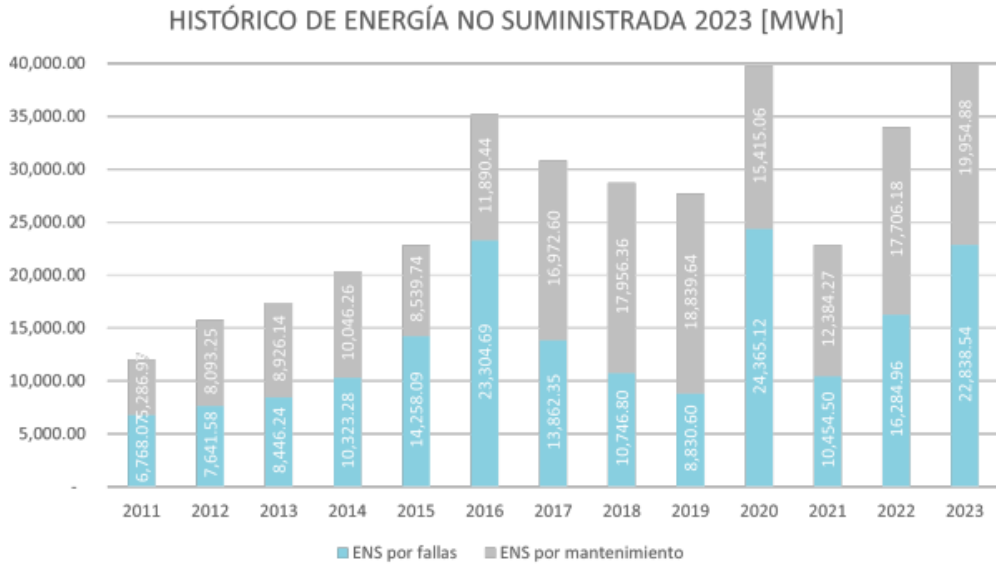


**Figura 8 Mapa de acceso a la energía eléctrica por departamento 2022**

Fuente: Unidad de acceso y cobertura eléctrica (SEN)

La demanda energética en el país ha crecido de forma sostenida, sin embargo, la expansión de la infraestructura, incluyendo plantas generadoras y redes de distribución, no ha seguido el mismo ritmo. Esta situación es especialmente crítica en el área rural, donde muchas comunidades aún carecen de acceso confiable a la electricidad o reciben un servicio intermitente y de baja calidad. La falta de mantenimiento adecuado en subestaciones y líneas de distribución ha

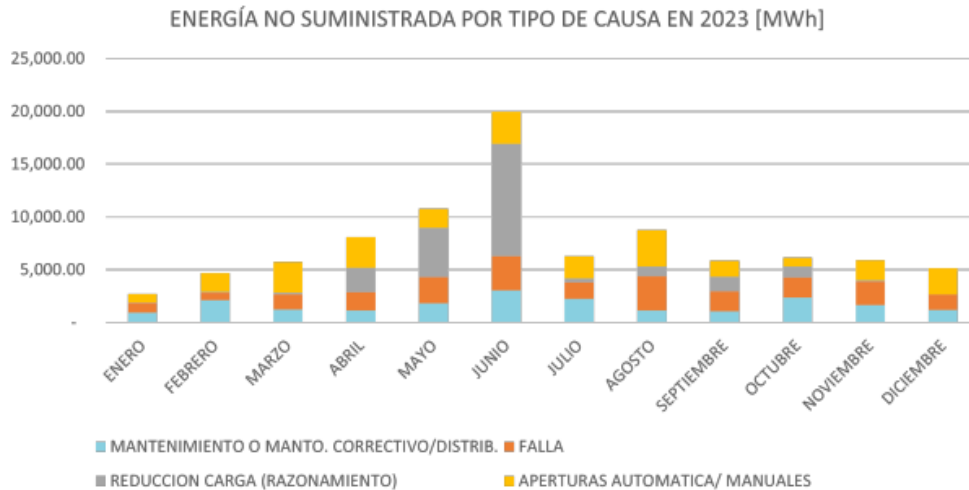
En apoyo a este diagnóstico, a continuación, se muestra un gráfico del histórico de energía no suministrada por causa de fallas y por mantenimiento desde 2011 a 2023:



**Gráfico 22 Energía no suministrada 2011-2023**

Fuente: Centro Nacional de Despacho (CND)

La Gráfica 22 evidencia una tendencia alarmante en el deterioro de la confiabilidad del sistema eléctrico nacional, marcada por un aumento continuo en la energía no suministrada, tanto por fallas como por labores de mantenimiento. En el año 2023, este fenómeno se acentúa notablemente, convirtiéndose en uno de los años más críticos en términos de energía no suministrada, con un Total de Energía No Suministrada (ENS) que excede los 42,000 MWh, alcanzando el nivel más alto del periodo analizado. Esta situación resalta la imperiosa necesidad de modernizar la infraestructura eléctrica, diversificar las fuentes de generación de energía y reforzar las estrategias de mantenimiento preventivo.



**Gráfico 23 Energía no suministrada por tipo de causa 2023**

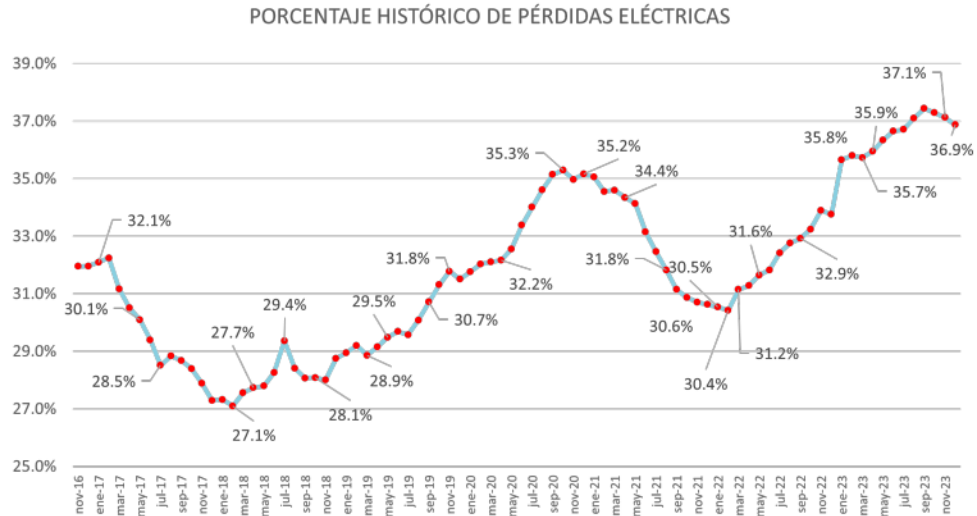
Fuente: Centro Nacional de Despacho (CND)

Asimismo, al examinar la gráfica 23, se pueden identificar las causas de la energía eléctrica no suministrada (ENS) en Honduras para el año 2023, las cuales están expresadas en megavatios hora (MWh) y se distribuyen mensualmente en función de cuatro categorías principales: mantenimiento o mantenimiento correctivo/distribución (color celeste), fallas (naranja), reducción de carga (razonamiento) (en gris), y aperturas automáticas o manuales (amarillo).

En el mes de junio, se registró la mayor cantidad de energía eléctrica no suministrada, con un total de 19,942.43 MWh, fenómeno asociado al impacto de una severa temporada seca que tuvo lugar en dicho año, lo cual repercutió negativamente en los niveles de embalses y en las centrales hidroeléctricas a nivel nacional.

Según los datos, del total de energía eléctrica no suministrada en 2023, un 28.34% se atribuye a cortes por mantenimiento, un 26.06% a fallas, un 5.43% a reducción de carga y el 40.17% restante a aperturas manuales o automáticas. (Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico Nacional, 2023, pp. 113).

## Pérdidas eléctricas



**Gráfico 24** Porcentaje histórico de pérdidas eléctricas

Fuente: Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico Nacional

En el gráfico 24 se presenta de manera detallada el comportamiento histórico de las pérdidas eléctricas en el sistema de distribución a lo largo del tiempo, abarcando un periodo que va desde el año 2015 hasta diciembre del año 2023. Es particularmente destacable que, a partir del año 2016, se evidenció una clara disminución de las pérdidas eléctricas, las cuales pasaron de un 33.38% a un porcentaje más reducido de 27.11%. A partir de febrero de 2018 las pérdidas han tenido un incremento, el cual se extendió de manera notable hasta diciembre de 2020. Finalmente, al cierre del análisis en diciembre de 2023, el porcentaje de pérdidas eléctricas alcanzó un preocupante 36.9%, lo que plantea interrogantes sobre la gestión y la eficiencia del sistema en su conjunto.

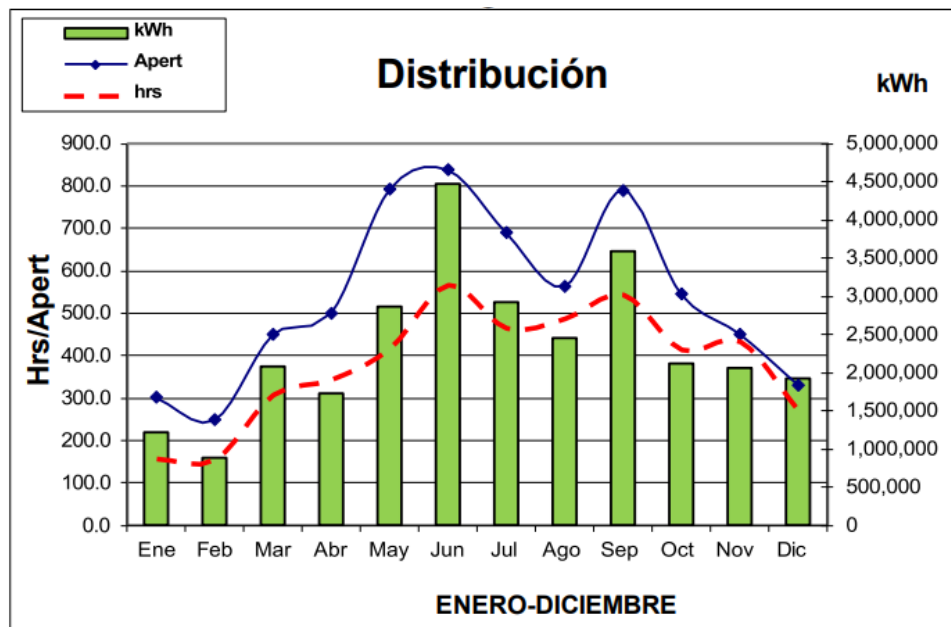
## Fallas en el sistema

### RESUMEN DE FALLAS EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

**Tabla 4 Resumen de fallas en el sistema de interconectado nacional**

AREA	ENERO-DICIEMBRE 2024			
	APERT	HRS	KWH NO ENTREGADOS	KWH RACIONADO
<b>DISTRIBUCION</b>				
DIST CENTRO	782	405	1,598,319	1,598,319
DIST CENTRO REGIONALES	1,212	1,090	5,551,297	5,551,297
DIST SUR	513	306	2,788,345	2,788,345
<b>TOTAL DIST CENTRO SUR</b>	<b>2,507</b>	<b>1,800</b>	<b>9,937,961</b>	<b>9,937,961</b>
SAN PEDRO SULA	1,588	1,020	7,435,339	7,435,339
DIST NORTE REGIONAL	1,273	835	5,994,359	5,994,359
YORO	49	22.5	47,275	47,275
OCCIDENTE	58	55	409,217	409,217
<b>TOTAL DIST NOR OCCIDENTE</b>	<b>2,968</b>	<b>1,932</b>	<b>13,886,190</b>	<b>13,886,190</b>
DIST LIT ATLANTICO	368	270	2,011,854	2,011,854
DIST LIT ATL REGIONALES	663	538	2,504,398	2,270,853
<b>TOTAL DIST LIT ATLANTICO</b>	<b>1,031</b>	<b>807</b>	<b>4,516,252</b>	<b>4,516,252</b>
<b>TOTAL DISTRIBUCIÓN</b>	<b>6,506</b>	<b>4,540</b>	<b>28,340,402</b>	<b>28,340,402</b>

Fuente: Centro Nacional de Despacho (CND)



**Gráfico 25 Distribución de fallas en el sistema**

Fuente: Centro Nacional de Despacho (CND)

La gráfica muestra la distribución mensual de fallas en el sistema, representadas a través de tres variables: el consumo de energía en kWh (barras verdes), el número de aperturas o eventos de falla (línea azul) y la duración de las fallas en horas (línea roja punteada). Se ve una clara cantidad de problemas en los meses de mayo, junio, julio y septiembre, siendo junio el mes más difícil con más que 4.5 millones de kWh usados, más que 800 aperturas y una duración de 550 horas lo cual indica sobrecarga del sistema o múltiples fallos grandes. Este patrón sugiere que durante estos meses el sistema enfrenta su mayor debilidad tal vez por cuestiones estacionales como aumento de carga clima extremo o deficiencias estructurales acumuladas. Por otro lado, los meses de enero, febrero y diciembre presentan los niveles más bajos en las tres variables, lo cual puede estar relacionado con una menor operación del sistema o simplemente una baja en la demanda. Es clave notar que la relación entre aperturas y consumo energético es similar, lo que quiere decir que cada vez que hay una falla, hay un gran efecto en el consumo, tal vez por reintentos del sistema, arranques forzados o pérdida de eficiencia energética. También se ven irregularidades, como en agosto y octubre donde las horas de fallas son altas, pero el número de aperturas y uso no reflejan eso igual. Esto puede mostrar fallas largas, pero poco frecuentes, como daños grandes sin atención inmediata. Esta información es importante para hacer un plan de mantenimiento predictivo y correctivo ya que ayuda a ver los meses con más estrés para el sistema y poner recursos para mejorar la infraestructura en esos tiempos. Finalmente, el análisis sugiere la necesidad de evaluar los factores que detonan estos picos de fallas, como sobrecargas, falta de mantenimiento, equipos obsoletos o condiciones ambientales, y actuar proactivamente para mitigar riesgos y reducir el impacto económico y operativo de estas interrupciones.

## **Conclusión**

La investigación sobre el sistema actual en el sistema de distribución en Honduras determino con los resultados de encuestas aplicada, permite afirmar que existe una percepción generalizada de ineficiencia, falta de mantenimiento y frecuentes interrupciones del servicio. Los datos recopilados a través de la investigación muestran que los problemas estructurales en las redes, la antigüedad de los equipos y la gestión reactiva predominan como las principales causas de fallas. Además, las encuestas revelan el estado del sistema eléctrico en Honduras es regular y eso puede notarse por la cantidad de fallas que muestra el sistema de distribución, donde las

interrupciones son más constantes y prolongadas. Las evidencias recolectadas respaldan la necesidad de una inversión planificada y sostenida, así como una revisión profunda de las políticas de mantenimiento, monitoreo y expansión de la red. Por lo cual, se puede concluir que la modernización del sistema de distribución eléctrica en Honduras es necesario, y puede ser posible, siempre y cuando se priorice una implementación integral basada en datos, participación social y decisiones técnicas fundamentadas en evidencia real.

#### **4.4 LA TECNOLOGÍA SMART GRID Y LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS**

De fuentes secundarias sobre la demanda, acceso a la electricidad y sobre las fallas en el sistema de distribución de Honduras, la percepción de la ciudadanía evidencia un sistema con graves deficiencias estructurales que requieren intervención inmediata para garantizar su sostenibilidad.

Las redes inteligentes, o Smart grids, constituyen una solución innovadora y prometedora para enfrentar el grave desafío de las pérdidas técnicas y no técnicas que afectan al sector eléctrico en Honduras. Estas pérdidas ascienden al 30% de la energía generada, un porcentaje considerablemente alto que repercute directamente en la calidad del servicio y en los costos para los usuarios. La experiencia acumulada en América Latina sugiere que la adopción de tecnologías inteligentes puede propiciar mejoras sustanciales en un período relativamente breve

La implementación de medidores inteligentes y sistemas de telemetría permitiría la identificación y localización inmediata de fallas en la red, así como de conexiones ilegales. Países como Chile y Colombia han logrado reducir sus pérdidas no técnicas en más de 10 puntos porcentuales gracias a esta tecnología. (Oliverio Álvarez Alonso, Noé Augusto Afonso Pérez. La medición en América Latina y el Caribe, 2023, pp. 42)

En el caso de Honduras, un sistema de monitoreo centralizado podría optimizar la distribución y facilitar la detección de áreas críticas donde se concentran las pérdidas más significativas.

La Figura 29 explica algunas de las razones que justifican la implementación de medidores inteligentes.



**Figura 9 Principales motivaciones para la implementación de la MI**

Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Para que Honduras pueda replicar estos logros, se sugiere iniciar con proyectos piloto en áreas urbanas como Tegucigalpa y San Pedro Sula, donde la densidad de usuarios hace viable la inversión inicial.

Analizar los circuitos con mayores pérdidas, ir de manera gradual para la implementación de la tecnología Smart Grids, los medidores AMI representarían el arranque para lo que puede ser una estrategia para reducir pérdidas.

Para la implementación de la tecnología Smart Grids se requiere la capacitación técnica para el personal o empresa encargada del sistema eléctrico, los datos recopilados del instrumento de investigación dejan en evidencia que los empleados del sistema eléctrico no están preparados para poder manejar ese tipo de tecnología, el uso e implementación efectiva de tecnologías de Smart Grids y otras soluciones innovadoras, el personal debe estar capacitado y especializado. Una formación no adecuada Sin una formación adecuada, la inversión podría fallar en obtener su máximo potencial. Invertir en capital humano es tan crítico como invertir en infraestructura: es el pilar para un sistema eléctrico eficiente y sostenible.

La transformación del sistema eléctrico hondureño a través de redes inteligentes no solo disminuiría las pérdidas económicas, sino que también mejoraría de manera radical la calidad del

servicio. Los ejemplos de la región demuestran que, con la voluntad política adecuada y una estrategia bien estructurada, es factible modernizar la infraestructura eléctrica en plazos razonablemente cortos. Para Honduras, dicha inversión representaría un avance crucial hacia un sistema eléctrico más eficiente, equitativo y sostenible.

#### **4.5 FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION**

##### **Factibilidad técnica**

Analizando el proyecto desde el punto de vista técnico el proyecto es viable, pero se requiere irlo haciendo de una forma gradual sobre todo teniendo en cuenta el estado actual de la infraestructura eléctrica existente ya que, si se quiere empezar abarcando muchas cosas, el sistema eléctrico actual se puede ver afectado. Como sabemos actualmente se cuenta con un gran índice de pérdidas, transformadores sobrecargados, circuitos de distribución obsoletos, entre otros.

En Honduras ya existen proyectos que se pueden tomar como base para la implementación de las Smart Grids, como por ejemplo la Microred inteligente híbrida de energías renovables en Choluteca.

Para poder obtener resultados positivos se deberán de hacer un uso correcto de los siguientes elementos: Infraestructura de medición avanzada (AMI), sistemas de supervisión y control (SCADA), integración de energías renovables, capacitación al personal técnico y a los usuarios.

##### **Factibilidad económica**

Este tipo de proyecto representaría una gran inversión para Honduras, sobre todo por que sabemos que los sistemas SCADA, medidores inteligentes y dispositivos de protección pueden llegar a ser muy caros y que muchos de estos se deben de exportar desde el exterior. También debemos tener en cuenta que se deberá de invertir en la mayoría de los circuitos de distribución

En zonas muy críticas tomando un promedio de 25 usuarios el costo de este tipo de proyectos podría ir desde los 2 millones de lempiras, tomando en cuenta que se iniciaría con los cambios de medidores como punto crítico.

Para financiar un proyecto de esta magnitud se deberá de recurrir a préstamos de organismos multilaterales como el Banco Centroamericano de Integración Económica (BID), se puede optar por asociaciones público-privada, este último serviría para hacer que la empresa

privada se vea involucrada en el proyecto y así poder reducirle los costos al estado.

### **Factibilidad social**

Para ver la factibilidad social del proyecto lo debemos de analizar desde dos puntos de vista: punto de vista urbano y el punto de vista rural.

El sector urbano tendría un potencial alto de aceptación ya que en esta zona siempre tienen interés en poder contar con un suministro de energía fluido y constante, si con las Smart Grids se les logra convencer y demostrar que esto es posible, este sector podría estar de acuerdo en que las tarifas pudieran crecer y que para la implementación de este proyecto se habrían varios días en los que no contarían con el suministro de energía.

Donde podría haber una aceptación negativa quizá sea en las zonas rurales ya que muchas veces en estos lugares los usuarios ni si quieren cuentan con un medidor y los que tienen su consumo llega a ser tan bajo que el gobierno lo termina subsidiando, por lo cual habría que saber implementar una forma de poder convencerlos del positivismo del proyecto.

La equidad y transparencia jugaran un papel clave en la aceptación social del proyecto, ya que siempre habrá personas que duden de este. Por eso será de vital importancia que el proceso sea acompañado por medios donde se pueda demostrar la transparencia del proyecto.

### **Factibilidad regulatoria**

Honduras cuenta con un marco legal que permite la participación de inversión privada y la integración de generación distribuida, pero la transición hacia redes inteligentes requerirá ajustes normativos adicionales. Entre ellos se incluyen:

- Establecer estándares técnicos para la interoperabilidad de equipos y sistemas de comunicación.
- Definir protocolos de ciberseguridad obligatorios para proteger la infraestructura crítica.
- Crear incentivos regulatorios que promuevan la inversión en tecnologías de medición avanzada y automatización.
- Fortalecer las capacidades de supervisión y fiscalización por parte de la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE).

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el transcurso detallado de la investigación realizada, se logró detectar, las limitaciones más significativas y críticas de la infraestructura existente, se exploraron las oportunidades que brindan las tecnologías Smart grids para la modernización efectiva de la red eléctrica. Así, se resalta la enorme relevancia de presentar propuestas bien fundamentadas, dirigidas a la implementación de redes inteligentes en el sistema de distribución eléctrica en Honduras. Esto no solo implica un avance en la tecnología, sino también un cambio en la manera de gestionar la energía. Además, se sugieren recomendaciones estratégicas orientadas para asegurar una propuesta de implementación exitosa y sostenible, tomando en cuenta diversos aspectos técnicos y sociales que son cruciales en este proceso. Estas reflexiones finales tienen como objetivo principal establecer un fundamento sólido y coherente para futuras acciones que fomenten la transformación integral del sector eléctrico en Honduras, encaminándolo hacia un modelo más sostenible, eficiente e inteligente que satisfaga las necesidades energéticas del país y de su población.

### **5.1 CONCLUSIONES**

La propuesta de implementación de redes inteligentes (Smart Grids) en el sistema de distribución eléctrica de Honduras representa una solución innovadora para optimizar la eficiencia, reducir pérdidas y mejorar la calidad del servicio. A través de esta investigación, se determinó que el sistema actual presenta deficiencias significativas, como altas pérdidas técnicas y no técnicas, falta de monitoreo en tiempo real y una infraestructura envejecida. Sin embargo, estas limitaciones también abren oportunidades para modernizar la red mediante tecnologías avanzadas, como medidores inteligentes (AMI), sistemas de automatización y análisis de datos en tiempo real. Se va a profundizar a continuación con las preguntas de investigación específicas:

- En la investigación el 70% de los encuestados determinaron que sistema actual de distribución de Honduras carece de mantenimiento, así mismo el sistema se ve afectado por una serie de retos significativos, que incluyen tanto elevadas pérdidas técnicas como no técnicas. Además, la infraestructura presentada se encuentra en un estado de obsolescencia y opera con una falta evidente de monitoreo en tiempo real. Estas carencias no solo fomentan ineficiencias en las operaciones, sino que también repercuten negativamente en la calidad del servicio brindado a los

usuarios. No obstante, este panorama también abre la puerta a oportunidades valiosas para llevar a cabo una modernización de la red eléctrica, utilizando tecnologías innovadoras de Smart Grid. La adopción de medidores inteligentes (AMI), junto con sistemas de automatización y análisis de datos, podría facilitar una gestión energética mucho más eficiente, lo que a su vez permitiría la reducción de pérdidas y una mejora notable en la confiabilidad del suministro eléctrico. Para avanzar en esta dirección, un diagnóstico exhaustivo del estado actual de la red es fundamental; esto permitirá identificar las áreas críticas que requieren atención y priorizar adecuadamente las inversiones necesarias para la modernización, garantizando así una transición efectiva hacia una red realmente inteligente.

- Una de las propuestas para las redes inteligentes en el sistema de distribución de Honduras en el tema de pérdidas en el sistema de distribución hondureño, tanto técnicas como no técnicas. Tecnologías como los medidores avanzados (AMI) facilitan la detección de fraudes y el monitoreo preciso del consumo, mientras que la automatización de subestaciones y redes permite una respuesta rápida ante fallas. Además, la integración de sistemas de comunicación bidireccionales mejora la gestión de la demanda y optimiza el flujo de energía. La implementación de estas soluciones aumentaría la transparencia y eficiencia del sistema, beneficiando tanto a las empresas distribuidoras como a los usuarios finales.
- El estudio revela que, para llevar a cabo la propuesta se debe considerar las particularidades del sistema eléctrico nacional, incluyendo su infraestructura actual, capacidad técnica y necesidades de los usuarios. Es crucial invertir en la capacitación de técnicos y en la concientización de los consumidores para garantizar una adopción exitosa. Con un enfoque planificado, Honduras tiene la oportunidad de transformar su red de distribución en un sistema inteligente, resistente y sustentable, que esté en sintonía con las tendencias globales en la modernización del sector energético.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Para lograr una transición exitosa hacia redes inteligentes en Honduras, se recomienda:

- En la propuesta para la implantación de redes inteligentes en el sistema de distribución de Honduras y basado en lo investigado se recomienda realizar un diagnóstico exhaustivo del sistema actual. Con el propósito de establecer las bases para una transición efectiva hacia redes inteligentes, es fundamental llevar a cabo una evaluación integral del sistema de distribución existente. La recomendación debe incorporar análisis tanto técnicos como comerciales mediante metodologías avanzadas que permitan identificar con precisión los puntos críticos de la red, para este tipo de análisis se deberá trabajar en conjunto con personal de la ENEE, UTCD y el PNRP y así poder dar con detalle un informe sobre los sistemas de distribución en el país.
- Se recomienda la utilización de sistemas de información geográfica para mapear las áreas con mayores problemáticas operativas, se podría disponer de esta mapa en páginas como la SEN o CREE y así los usuarios poder hacerse una idea de la problemática actual que esto representa en el país, complementándose con mediciones de campo que verifiquen parámetros tales como niveles de voltaje, cargas en transformadores y condiciones de los conductores.
- En la investigación unos puntos críticos del sistema de distribución de Honduras son las pérdidas técnicas, la propuesta de redes inteligentes en el país. Se recomienda al PNRP la inversión en medidores inteligentes (AMI) como el primer paso hacia la digitalización de la red, dado que dichos dispositivos facilitaran el monitoreo en tiempo real y la detección de consumos no autorizados.
- Durante los resultados sobre una propuesta de redes inteligentes en Honduras, es esencial y de suma importancia capacitar al personal técnico y a los usuarios finales. Esto garantizará que todos los actores involucrados comprendan con claridad el funcionamiento y las numerosas ventajas de las nuevas tecnologías que se implementan. La capacitación adecuada no solo proporciona el conocimiento necesario, sino que también fomenta una adopción más eficiente de estas innovaciones.

Las recomendaciones de la propuesta de redes inteligentes en Honduras no solamente mejorarán la eficiencia del sistema eléctrico, sino que también establecerán las bases sólidas para un futuro energético más sostenible. La implementación de dicha transición debe ser estratégica, con una visión clara y ambiciosa a largo plazo, así como un firme compromiso y colaboración de todos los sectores implicados en esta importante transformación. Es fundamental que cada parte interesada reconozca su papel y responsabilidad en este proceso, promoviendo así un desarrollo que beneficie no solo a la generación actual de energía, sino también a las futuras generaciones.

## **CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD**

En el presente capítulo, se procederá a desglosar las diversas propuestas orientadas a la implementación de redes inteligentes en el sistema de distribución de Honduras. La investigación realizada evalúa la viabilidad práctica de tales propuestas, orientándose hacia la implementación de Smart Grids en el sistema de distribución eléctrica hondureño, al establecer los fundamentos técnicos y operativos indispensables para su adopción. Este análisis se centra en la evaluación de la compatibilidad de la infraestructura existente con los componentes esenciales de las Smart Grids, tomando en consideración aspectos como la capacidad de los sistemas actuales, los requerimientos tecnológicos y las condiciones del entorno operativo. Asimismo, la investigación destaca los beneficios potenciales en términos de eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad del servicio eléctrico. Los resultados de este estudio proporcionan una base sólida para la toma de decisiones, asegurando que el proyecto trascienda el ámbito teórico y se concrete en soluciones tangibles para el sistema eléctrico hondureño.

A continuación, se presentan el análisis técnico de cada una de las propuestas para la implementación de redes inteligentes en el sistema de distribución de Honduras.

### **6.1 Nombre de la Propuesta**

Propuesta de modernización del Sistema de Distribución Eléctrica en Honduras: Medición Inteligente (AMI) y Estrategia Integral de Mejoras

### **6.2 JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA**

La propuesta de modernizar el sistema de distribución con medidores inteligentes (AMI) y un plan completo para actualizar la red eléctrica en Honduras responde a la demanda apremiante de actualizar un sistema obsoleto que ahora sufre de un alto índice de pérdidas técnicas y no técnicas, estas pérdidas, derivadas de mediciones inexactas, fraudes, falta de mantenimiento en redes y transformadores, así como de un control operativo limitado, generan un impacto económico significativo tanto para las distribuidoras como para los usuarios finales. La tecnología AMI permitirá un monitoreo en tiempo real del consumo, la detección automática de anomalías y una gestión comercial más eficiente, lo que se traducirá en una reducción sustancial de energía no facturada. Además, este sistema facilitará la identificación de puntos críticos en la red, optimizando las inversiones en mantenimiento y renovación de infraestructura.

### **6.3 ALCANCE DE LA PROPUESTA**

La propuesta integral abarca la modernización del sistema de distribución eléctrica en Honduras, utilizando innovadoras tecnologías mediante la implementación de medidores inteligentes (AMI) y una estrategia comprensiva de mejoras técnicas y operativas. Su aplicación se realizará de manera gradual, analizando los circuitos que presentan elevados índices de pérdidas, incluyendo la necesaria actualización de infraestructura existente, la capacitación profunda de personal operativo, la integración eficaz de sistemas de monitoreo y la estandarización de procesos para maximizar la eficiencia. A través de estas iniciativas, se busca no solo reducir las pérdidas, sino también aumentar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios, fomentando un desarrollo sostenible y una mayor satisfacción ciudadana.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta estratégica que permite abordar tanto la modernización tecnológica del sistema de medición y garantizar la estabilidad del suministro eléctrico hondureño a los usuarios.

#### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar un levantamiento piloto en el circuito NCO-364, para validar la normativa de los equipos de medición.
- Proponer un proceso de implementación de medidores AMI tiene como objetivo principal reducir las pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema de distribución eléctrica de Honduras mediante la modernización del sistema de medición.
- Proponer un proceso para optimizar el mantenimiento de transformadores mediante análisis predictivo basado en datos recolectados por los medidores AMI.

### **6.5 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO**

El presente proyecto se ha estructurado en dos ejes complementarios que abordan componentes estratégicos diferenciados. El primer eje se enfoca específicamente en la implementación de medidores inteligentes (AMI) como solución tecnológica clave para reducir pérdidas técnicas y no técnicas, mediante la instalación progresiva de dispositivos de medición

avanzada, la implementación de sistemas de comunicación bidireccional y el desarrollo de plataformas analíticas para el monitoreo en tiempo real del consumo energético. El segundo eje se enfoca en los transformadores conectados en los sistemas de distribución para abastecer la demanda energética de los usuarios residenciales, la formulación de un plan de acción detallado para la modernización de la infraestructura crítica, incluyendo protocolos de mantenimiento preventivo y predictivo.

Esta división estratégica permite abordar tanto la modernización tecnológica del sistema de medición y garantizar la estabilidad del suministro eléctrico hondureño. Ambas propuestas se articulan bajo un marco común de implementación que incluye componentes de capacitación técnica.

#### 6.5.1 EJE ESTRATÉGICO 1: INSTALACIÓN DE MEDIDOR AMI PARA LA REDUCCIÓN DE PERDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN HONDURAS

El sistema de Medición Avanzada de Infraestructura (AMI) se caracteriza por su capacidad de realizar mediciones de energía bidireccionales, lo que incluye funciones de lectura, corte y reconexión de manera remota por parte de la empresa distribuidora. Su objetivo primordial es prevenir el reclamo ilícito de energía eléctrica. Esta tecnología actúa como un facilitador que mejora la eficiencia del proceso de medición dentro de la compañía eléctrica, englobando todas las redes y sistemas dedicados a la medición, recolección y análisis del consumo energético.

Es relevante señalar que AMI tiene la habilidad de gestionar la totalidad de la información recopilada y tomar decisiones informadas, con el propósito de optimizar las operaciones, incrementando así la agilidad y flexibilidad de estas, al mismo tiempo que se promueve una mayor conciencia ambiental y se mejora la atención al cliente.

Una de las diferencias más notables al emplear un medidor inteligente frente a los medidores tradicionales es que la infraestructura convencional de medición presenta numerosas deficiencias, entre estas se encuentran la elevada propensión al robo de energía y a la manipulación por parte de individuos no autorizados. Adicionalmente, los medidores tradicionales no proporcionan información sobre el uso energético ni sobre los niveles de carga en tiempo real de los consumidores, limitando el conocimiento tanto de la empresa distribuidora como de los usuarios finales. En contraste, un sistema AMI proporciona información actualizada y exhaustiva

respecto al consumo energético de un hogar o negocio, permitiendo identificar los momentos y lugares de mayor consumo.

Asimismo, este sistema ofrece a la empresa eléctrica las herramientas necesarias para medir la demanda de manera programada y analizar el comportamiento de los consumidores, facilitando así la mejora continua de sus procesos mediante el suministro de datos sobre los parámetros energéticos. AMI también se encarga de registrar y notificar irregularidades que, de otro modo, solo podrían ser detectadas por un técnico especializado, lo que propicia la resolución de problemas potenciales en el sistema eléctrico. Al permitir un monitoreo regular del consumo, los usuarios pueden comprender mejor la dinámica de sus espacios, beneficiándose plenamente de las capacidades que la gestión tecnológica ofrece para optimizar su uso de energía y mejorar su experiencia como consumidores.

La implementación de medidores avanzados de medición (AMI) en el sistema de distribución eléctrica de Honduras se fundamenta en la necesidad urgente de modernizar la infraestructura de medición para reducir las significativas pérdidas técnicas y no técnicas que actualmente afectan al sistema. Esta modernización tecnológica facilitará la identificación y reducción de pérdidas, mejorará la calidad del servicio al cliente y optimizará los procesos operativos.

#### 6.5.1.1 PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación de redes inteligentes en Honduras debe irse realizando de manera gradual, empezando con analizar a los usuarios residenciales conectados a los transformadores de distribución. El departamento de cortes tiene el índice con mayor pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema de distribución, propuesta se va a desarrollar con la implementación de medidores AMI a los usuarios residenciales.

A continuación, se presenta un método para la implementación de medidores de tecnología AMI.

El trabajo de campo implica la elaboración de un levantamiento exhaustivo de los transformadores de distribución, así como la verificación del tipo de medición de cada abonado.

Esta labor puede ser realizada por el personal técnico asignado del Programa Nacional para la Reducción de Pérdidas. Se requiere llevar a cabo un levantamiento técnico integral de cada

transformador de distribución, comenzando por aquellos que presentan los índices de pérdidas más altos en el circuito NCO 364. El personal técnico debidamente calificado llevará a cabo visitas domiciliarias para confirmar el tipo de medición vigente, el estado físico del medidor y las conexiones eléctricas asociadas. El proceso de recolección de datos incluirá fotografías georreferenciadas, mediciones de parámetros eléctricos (tensión y corriente), así como un registro detallado de las características técnicas de cada suministro.

Los resultados obtenidos se consolidarán en un informe técnico por transformador, que abarcará: diagrama unifilar actualizado, balance energético, cálculo de pérdidas técnicas estimadas y recomendaciones específicas para la instalación de tecnología AMI. Este procedimiento asegurará que la migración hacia una medición inteligente se realice con información precisa y actualizada, lo que permitirá minimizar los riesgos operativos durante su implementación.

#### 6.5.2 PROPUESTA INTEGRAL DE MODERNIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN HONDURAS: DIAGNÓSTICO, OPTIMIZACIÓN Y PLAN DE ACCIÓN PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

El sistema nacional de distribución eléctrica se encuentra ante una situación crítica que demanda atención inmediata, resultado de prácticas operativas que comprometen su estabilidad y eficiencia. La evidencia técnica recopilada indica un patrón generalizado de uso inadecuado de los transformadores, una problemática que trasciende lo puramente operativo para configurarse como un desafío estructural que afecta la calidad del servicio eléctrico.

Existe una problemática de asignación excesiva de demandas a unidades de transformación, en la cual equipos diseñados para capacidades específicas soportan sistemáticamente cargas superiores a sus especificaciones técnicas. Esta circunstancia se ve acentuada por la conexión desproporcionada de usuarios a unidades individuales, provocando un estrés operativo continuo en la infraestructura.

Las consecuencias de esta situación son diversas y de carácter acumulativo:

- Deterioro acelerado de equipos: La operación prolongada en condiciones inapropiadas causa un desgaste prematuro de componentes críticos, resultando en una reducción significativa de

la vida útil proyectada de los transformadores.

- Compromiso de la calidad del servicio: Las condiciones de operación al límite conllevan a fluctuaciones de voltaje e interrupciones frecuentes, afectando de manera directa a los usuarios finales.
- Sobrecarga del sistema de mantenimiento: La frecuencia anómala de fallas sobrepasa la capacidad de respuesta técnica, generando ciclos de reparación urgente que no abordan las causas fundamentales.

Con el desarrollo de este eje se busca establecer parámetros técnicos racionales para la operación del transformador, implementar mecanismos de control y seguimiento que prevengan condiciones operativas adversas, desarrollar protocolos que aseguren una distribución equilibrada de cargas, introducir tecnologías que permitan una gestión más eficiente de los recursos existentes

La intervención propuesta busca transformar el actual esquema reactivo en un modelo preventivo y planificado, donde las decisiones técnicas se fundamenten en criterios de eficiencia operacional y sostenibilidad. Esto representa no solo una mejora en la infraestructura física, sino un cambio paradigmático en la gestión del sistema de distribución eléctrico nacional.

La importancia estratégica de esta iniciativa radica en su potencial para: garantizar la estabilidad del suministro eléctrico, optimizar la utilización de los recursos existentes, sentar las bases para una expansión ordenada del sistema, mejorar los indicadores de calidad del servicio.

#### 6.5.2.1 PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

La propuesta de la implementación se desarrollará a través de una metodología estructurada en cuatro fases sucesivas. La fase inicial incluye la conformación de un equipo técnico especializado y el establecimiento de los protocolos base para las evaluaciones. Luego, se llevará a cabo un diagnóstico integral utilizando técnicas estandarizadas de medición y análisis, que facilitará la identificación precisa de los puntos críticos de la red. La tercera fase abarcará la ejecución de las intervenciones prioritarias, siguiendo un cronograma que minimice las afectaciones al servicio. Por último, se establecerá un sistema permanente de monitoreo y evaluación que garantice el mantenimiento de los estándares alcanzados.

La implementación seguirá un esquema por fases geográficas y técnicas, priorizando aquellas zonas que presentan una mayor criticidad operativa. Cada etapa contará con protocolos específicos de ejecución y procedimientos estandarizados de verificación. La documentación integral del proceso permitirá mantener una trazabilidad absoluta de todas las intervenciones realizadas, lo que facilitará la evaluación posterior de resultados y la identificación de lecciones aprendidas.

Ante el análisis de las propuestas anteriores y validar como se puede hacer la implementación de las propuestas se realizó un levantamiento piloto de un transformador de distribución en el sector de cofradía, departamento de cortes con el fin de validar en campo como aun los equipos de medidas que se utilizan son electromecánicos y la falta de malas prácticas técnicas en el dimensionamiento de un transformador de distribución.

Para la implementación de redes inteligentes en el sistema de distribución se debe ir realizando de manera gradual.

### **Cómo se realizará**

El desarrollo de este eje debe de apegarse a la normativa que tiene estipulada la empresa distribuidora. A continuación, se detalla la ejecución de un programa integral de modernización del sistema de distribución eléctrica, centrándose particularmente en la optimización del transformador.

El alcance operativo se extiende a tres dimensiones fundamentales:

Se llevará a cabo una evaluación exhaustiva del estado actual de la infraestructura, mediante una caracterización técnica detallada de todos los componentes críticos.

Se implementará un plan de mejoras tecnológicas que abarcará tanto la actualización de equipos obsoletos como la incorporación de sistemas inteligentes de monitoreo.

Se establecerán protocolos de operación y mantenimiento que asegurarán la sostenibilidad de las intervenciones realizadas.

### **Implementación de las propuestas realizado con levantamiento piloto**

El levantamiento se realizó en el circuito NCO-364 en el sector de cofradía, cabe mencionar que es uno de los circuitos con mayores pérdidas en el departamento de cortes.

“Un ejemplo de lo anterior se registra en el circuito NCO-L364, conocido como Naco, Cortés, en donde la cifra de pérdida alcanza 60.37%. Lo anterior se deriva de la entrada de 8,593,824 kilovatios hora, de los que 3,405,512 correspondieron a ventas y 5,186,312 resultaron en pérdidas, equivalente a 60.37%”. (EL HERALDO, 2023)

En la siguiente imagen se detalla la información general de la explicación del levantamiento piloto para aplicar la importancia de los medidores AMI y analizar el sistema de distribución con el fin de mejorar la calidad de servicio a los usuarios finales.



**Figura 10 Información general de la propuesta**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

### 6.5.2.2 EL LEVANTAMIENTO PILOTO

El levantamiento abarca los dos puntos de la propuesta explicados en la aplicabilidad, la tecnología de medición obsoleta y la mala práctica de cómo se utilizan los transformadores de distribución en el sistema.

El levantamiento técnico ha permitido identificar dos aspectos fundamentales que impactan de manera significativa en la eficiencia energética de las operaciones. En primer lugar, se ha determinado que los sistemas de medición actualmente en uso presentan considerables limitaciones técnicas, lo cual afecta directamente la precisión de los registros y la capacidad de llevar a cabo un seguimiento adecuado del consumo energético. Esta situación obstaculiza la gestión óptima de los recursos disponibles y complica la identificación de oportunidades de mejora.

En segundo lugar, se ha observado que los transformadores de distribución no están funcionando dentro de los parámetros técnicos recomendados por los fabricantes. Las condiciones operativas actuales conducen a un consumo energético excesivo y, simultáneamente, disminuyen la vida útil de estos equipos críticos. Esta problemática se ve exacerbada por la ausencia de un sistema de monitoreo que permita detectar y rectificar oportunamente estas desviaciones operativas.

En el levantamiento se realizó el conteo de los usuarios finales conectados en el transformador.

En la siguiente tabla es la información sobre los usuarios conectados en el transformador y el tipo de tecnología del medidor que tienen instalados.

**Tabla 5 Abonados en transformador de 50KVA**

<b>Abonados conectados en transformador de 50 KVA</b>					
<b>No</b>	<b>Serie de medidor</b>	<b>Marca de medidor</b>	<b>Tipo de medidor</b>	<b>Medidor en norma</b>	<b>Medidor AMI</b>
1	97099333	LANDIS & GYR	Electromecanico	No	No
2	2023002159359	HEXING	Digital	Si	No
3	70430981	SMART	Digital	No	No
4	300000107502	NANSEN	Digital	No	No
5	300000109302	NANSEN	Digital	Si	No
6	100194192	HEXING	Digital	No	No
7	51534900	Desconocido	Digital	No	No
8	2016002003710	HEXING	Digital	No	No
9	2016002003716	HEXING	Digital	No	No
10	300000114199	NANSEN	Digital	No	No
11	300000066082	NANSEN	Digital	No	No
12	300000023855	NANSEN	Digital	No	No
13	2016002007775	HEXING	Digital	No	No
14	2023002083637	HEXING	Digital	No	No
15	20240159015	HEXING	Digital	No	No
16	300000053690	NANSEN	Digital	No	No
17	97096918	LANDIS & GYR	Electromecanico	No	No
18	100192893	HEXING	Digital	No	No
19	100332391	HEXING	Digital	Si	No
20	100192894	HEXING	Digital	No	No
21	97092943	LANDIS & GYR	Electromecanico	No	No
22	97095954	LANDIS & GYR	Electromecanico	Si	No
23	97096917	LANDIS & GYR	Electromecanico	No	No
24	9700095955	LANDIS & GYR	Electromecanico	No	No
25	2003035162	NANSEN	Electromecanico	No	No
26	78726821	WESTINGHOUSE	Electromecanico	No	No

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Se adjuntan imágenes del tipo de medidor instalados



**Figura 11 Medidor digital no normalizado**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)



**Figura 12 Medidor análogo no normalizado**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)



**Figura 13 Medidor análogo no normalizado**

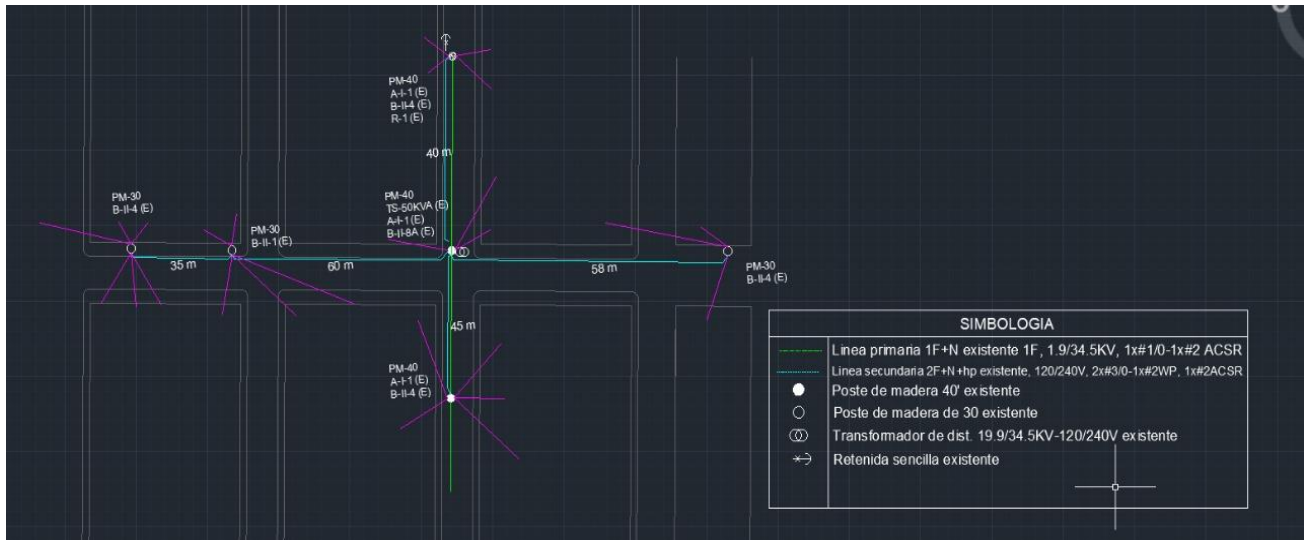
Fuente: (Elaboración propia, 2025)



**Figura 14 Medidor digital no normalizado**

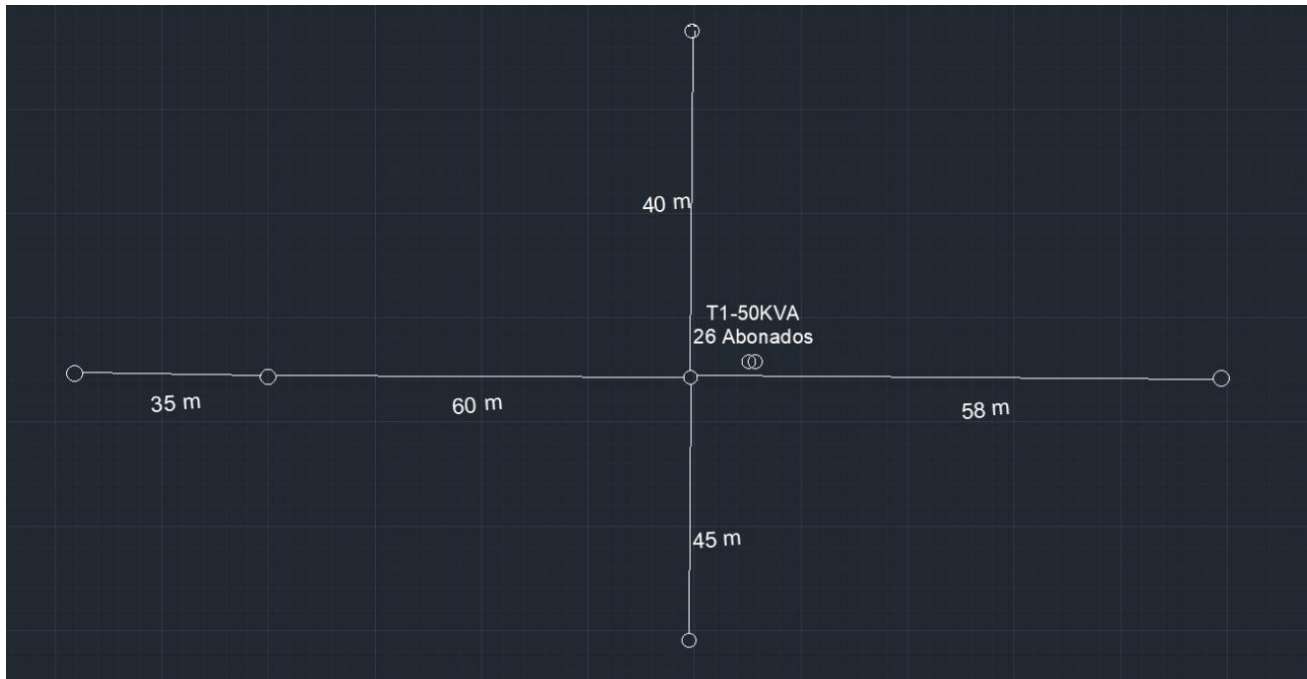
Fuente: (Elaboración propia, 2025)

A continuación, se presenta un diagrama unifilar y la distribución de los abonados conectados al transformador de distribución.



**Figura 15 Distribución de abonados de transformador de 50KVA**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

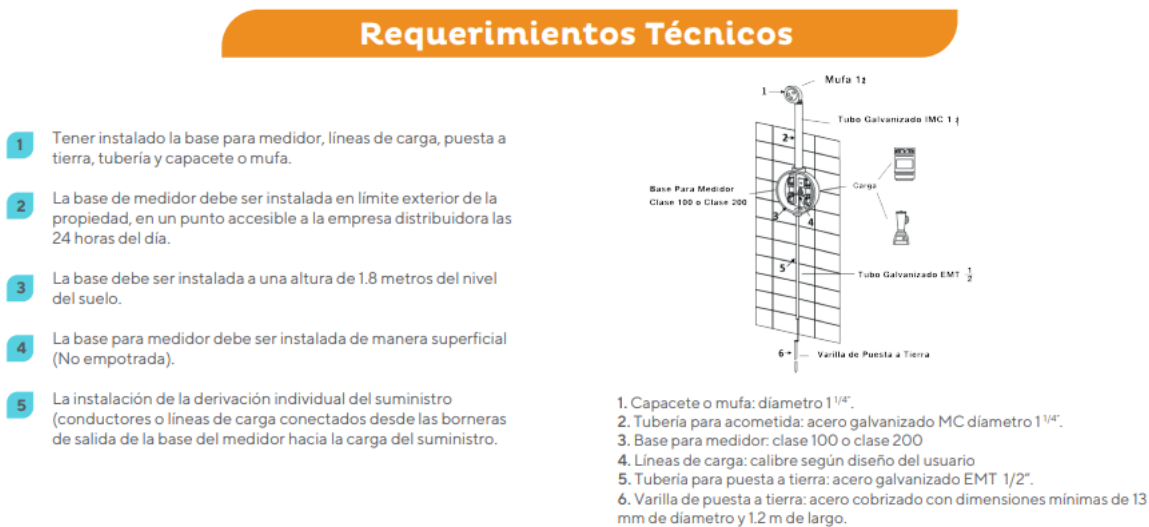


**Figura 16 Distribución de abonados de transformador de 50KVA**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

### 6.5.2.3 EXPLICACIÓN DE NORMATIVA

Existe una norma para el usuario residencial, que detalla los requerimientos técnicos para la instalación de su medidor.



**Figura 17 Requerimientos técnicos para la instalación de un medidor**

Fuente: (UTCD ENEE, 2024)

El sistema de distribución tiene como referencia para una instalación correcta de los transformadores de distribución lo siguiente:

- "Manual de Diseño de Redes de Distribución" (ENEE) – Define especificaciones técnicas para transformadores.
- "Reglamento de la Ley General de la Industria Eléctrica" (Acuerdo PCM-053-2014) – Marco legal para instalaciones.
- "Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas" (CNE Honduras) – Basado en NEC.

La demanda por vivienda depende de los m<sup>2</sup>, la dimensión de demanda para viviendas estándar en Honduras es de 3 a 4 KVA.

El factor de demanda FD, es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la carga total instalada.

Para el dimensionamiento de un transformador de distribución se debe de tener en cuenta los siguientes datos, la capacidad de viviendas a conectarse, el factor de demanda, los KVA por vivienda y el factor de potencia.

$$CP = \frac{NV * D * FD}{FP}$$

## **Ecuación 2 Ecuación para el dimensionamiento de transformadores**

Donde:

CP: Capacidad de transformador

NV: Número de viviendas

D: Demanda por vivienda

FD: Factor de demanda

FP: Factor de potencia

## **Distancias Interpostales**

Las distancias interpostales con redes primarias no deberán exceder 50 metros en zona urbana y 100 metros en la zona rural en terreno plano, para distancias mayores será de acuerdo con las condiciones del terreno, libramiento y esfuerzo mecánico. Las distancias interpostales con redes secundarias no deberán exceder los cincuenta (50) metros en áreas urbanas y los sesenta (60) metros en áreas rurales, si la topografía del terreno no permite distancias menores.

## **Transformadores De Distribución**

El radio de la red secundaria que alimentará cada transformador no será mayor de 250 metros en redes urbanas y 350 metros en redes rurales, la máxima capacidad de este será de 50 KVA.

### **6.5.2.4 EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA**

Las redes inteligentes en los sistemas de distribución se deben ir implementando de manera gradual, los medidores AMI puede ser el inicio de la modernización del sistema, es un dispositivo que permite reducción de perdidas técnicas y no técnicas. En las perdidas técnicas los medidores AMI ayudan a minimizar el consumo por equipos obsoletos. Detalla datos de consumo, la empresa distribuidora puede implementar estrategias de balanceo de carga, reduciendo así las sobrecargas

en transformadores y líneas de distribución, que son causas comunes de pérdidas por calor.

Con los medidores AMI no existen errores de facturación por consumo ya que elimina la necesidad de lectores humanos para realizar la lectura de consumo del usuario, lo que representa un avance significativo en la eficiencia operativa de la ENEE. Comúnmente, las lecturas de consumo por el humano están sujetas a errores, demoras en la recolección de datos e incluso fraudes, como la omisión o alteración de registros. Los medidores AMI tiene el proceso de automatización mediante la transmisión remota y en tiempo real de datos de consumo, garantizando mayor precisión y confiabilidad en la medición.

Esta automatización no solo reduce costos operativos asociados con personal de campo, sino que también minimiza pérdidas comerciales derivadas de facturación incorrecta que en muchos sistemas eléctricos representan un porcentaje considerable de la energía no contabilizada.

### **Modelo de instalación de medidores AMI**

La empresa distribuidora debe de estandarizar a todos los usuarios con las normativas para la instalación de un medidor.

En la Figura 18 se observan como están instalados los medidores en la mayor parte del país.



**Figura 18 Medidor instalado en vivienda**

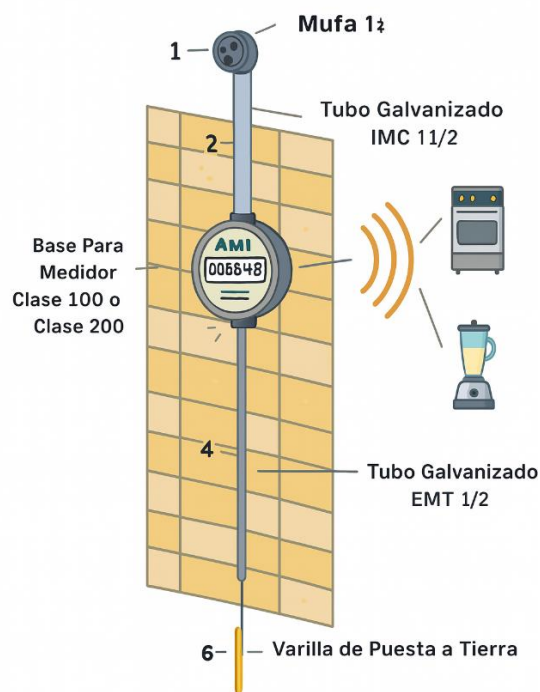
Fuente: (Elaboración propia, 2025)

En la figura 18 el medidor no cumple con ningún estándar de instalación, la tecnología que

se muestra es obsoleta, la instalación de la base de medidor debe estar de manera superficial y la tubería.

La altura del medidor no está en norma, eso puede tener una consecuencia tanto para el usuario o la empresa distribuidora, el error humano es aún mayor debido a la imposibilidad de poder tener buena visión para realizar la lectura.

En la Figura 19 es el modelo correcto para que la implementación de medidores AMI estén cumpliendo con toda la normativa.



**Figura 19 Modelo correcto de implementación de medidores AMI**

Fuente: (UTCD ENEE, 2024)

La instalación es de manera progresiva, en la propuesta se estudió que hay 26 viviendas con tecnología obsoleta, conectadas en un transformador de distribución de 50 KVA.

Como segundo paso es el análisis de consumo por vivienda, todas las viviendas ya tienen un patrón de consumo ya con la implementación del medidor AMI se podrá realizar la comparativa

de consumo, en el cual se pueden dar por varios factores: hurto de energía, equipo de medida descalibrado, tecnología obsoleta.

El final del proceso de puesta en marcha de sistemas de medición avanzada (AMI) se encuentra en la etapa de análisis de datos, una etapa crucial en la que la información recolectada se convierte en saber aplicable para la mejora de la red eléctrica. Este procedimiento sistemático requiere la utilización de técnicas de análisis avanzadas y tecnologías de procesamiento de datos, dirigidas a incrementar la eficacia operacional y reducir las pérdidas tanto técnicas como no técnicas.

### **Sistema de distribución**

En la actualidad los transformadores de distribución están dimensionados de manera errónea en el sector residencial, como consecuencia las múltiples fallas.

La Smart Grids en la implementación de medidores AMI, no solo tiene beneficio en el tema de reducción de perdidas, es un instrumento que puede beneficiar a los sistemas de distribución.

En la última etapa sobre el modelo de medidores AMI que es la recolección de datos, se va a poder validar que los transformadores de distribución o de zona estén operando al 80% de su capacidad.

### **Aplicando datos teóricos**

En el levantamiento piloto realizado, el transformador tiene conectado 26 viviendas, en el caso que el análisis de consumo esté sobrepasando la capacidad del transformador se debe de instalar otro transformador quedando la carga dividida y balanceada.

Aplicando la fórmula de capacidad de transformador

Se tienen los siguientes datos teóricos para realizar el cálculo

NV: 26

D: 3 KVA

FD: Proyectos residenciales en Honduras suelen usar 0.6–0.7 para evitar sobredimensionar transformadores.

FP: 0.9

$$CP = \frac{26 * 3 * 0.65}{0.9}$$

$$CP = 56.33 \cong 75 \text{ KVA}$$

Ese mala prácticas de saturar u operar a carga máxima los transformadores de distribución se observan en el sistema muy frecuente,

La sobrecarga en los transformadores de distribución es cuando funciona igual o mayor a su capacidad nominal de diseño. Sucede por realizar un estudio erróneo en la cantidad de usuarios a conectarse, donde no se tienen en cuenta adecuadamente los niveles de demanda actuales y futuros, o debido a un crecimiento inesperado en la carga conectada.

En un problema para las pérdidas técnicas cuando el transformador está en condiciones de sobrecarga, lo que resulta en un calentamiento excesivo tanto del núcleo como del aceite dieléctrico.

El sistema eléctrico desde la perspectiva operativa, los transformadores sobrecargados generan pérdidas de energía elevadas, fluctuaciones de tensión y una mayor frecuencia de interrupciones en el servicio. Estos problemas no solo afectan la calidad del suministro eléctrico, sino que también conllevan costos adicionales por reparaciones frecuentes y la necesidad de reemplazar equipos antes de tiempo.

## PROCESO DE SOCIALIZACION

### **Fases del proceso**

#### **Fase 0 – Preparación (1–2 meses)**

- Conformación de un equipo de socialización con representación técnica, institucional y comunitaria.
- Identificación y mapeo de actores clave (reguladores, autoridades municipales, empresas, líderes comunitarios, zonas de mayor necesidad de las Smart Grids)
- Elaboración de mensajes sobre objetivos y beneficios.

### **Fase 1 – Diagnóstico y elaboración de mensajes (1–2 meses)**

- Realización de talleres con personal técnico y las autoridades que sean necesarias.
- Aplicación de encuestas comunitarias para conocer percepciones, dudas y posibles resistencias.
- Adaptación de mensajes específicos para las comunidades.

### **Fase 2 – Diseño de la estrategia participativa (1 mes)**

- Creación de un plan de comunicación para mantener comunicación entre equipos técnicos y usuarios.
- Desarrollo de programas de capacitación técnica para instaladores y operadores.
- Selección de una zona piloto que permita mostrar resultados tempranos.

### **Fase 3 – Ejecución del piloto y socialización en terreno (3–6 meses)**

- Presentación oficial del piloto mediante un evento público y cobertura en medios locales.
- Organización de reuniones comunitarias y demostraciones de funcionamiento de medidores inteligentes.
- Implementación de un sistema de atención y respuesta a consultas o reclamos, este puede ser por medio de Whatsapp, llamadas telefónicas, o algún tipo de bot.

### **Fase 4 – Evaluación, ajuste y preparación del escalamiento (2–6 meses)**

- Evaluación técnica y social de los resultados del piloto.
- Definición de un plan de expansión a otras zonas, tomando como prioridad las zonas con mayor índice de pérdidas.

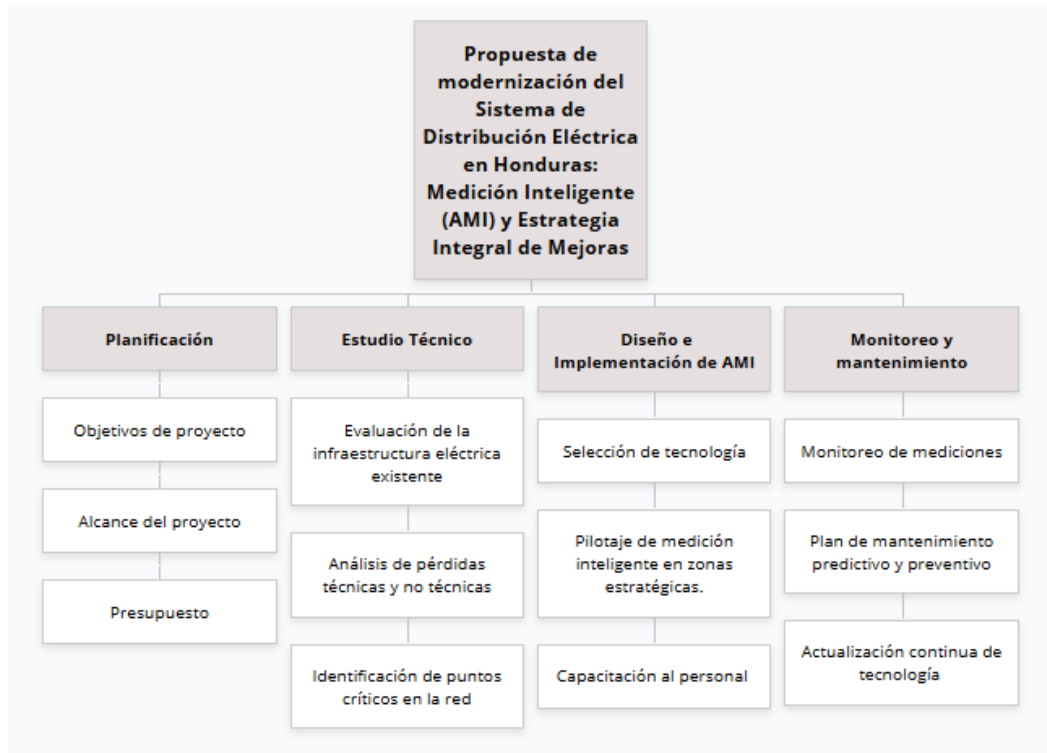
### **Fase 5 – Consolidación y gobernanza permanente (continuo)**

- Creación de mesas de diálogo con participación ciudadana, esta servirá para que las personas hagan saber de sus necesidades y/o consultas que tengan.
- Difusión periódica de indicadores de servicio y avances del proyecto.
- Implementación de programas educativos en escuelas públicas y privadas también se puede implementar una plataforma en línea para promover el uso responsable de la energía.

- Crear una solicitud de aceptación del uso responsable de la energía, esta solicitud deberá de ser llenada por todos los usuarios que requieran utilizar el suministro de energía eléctrica.

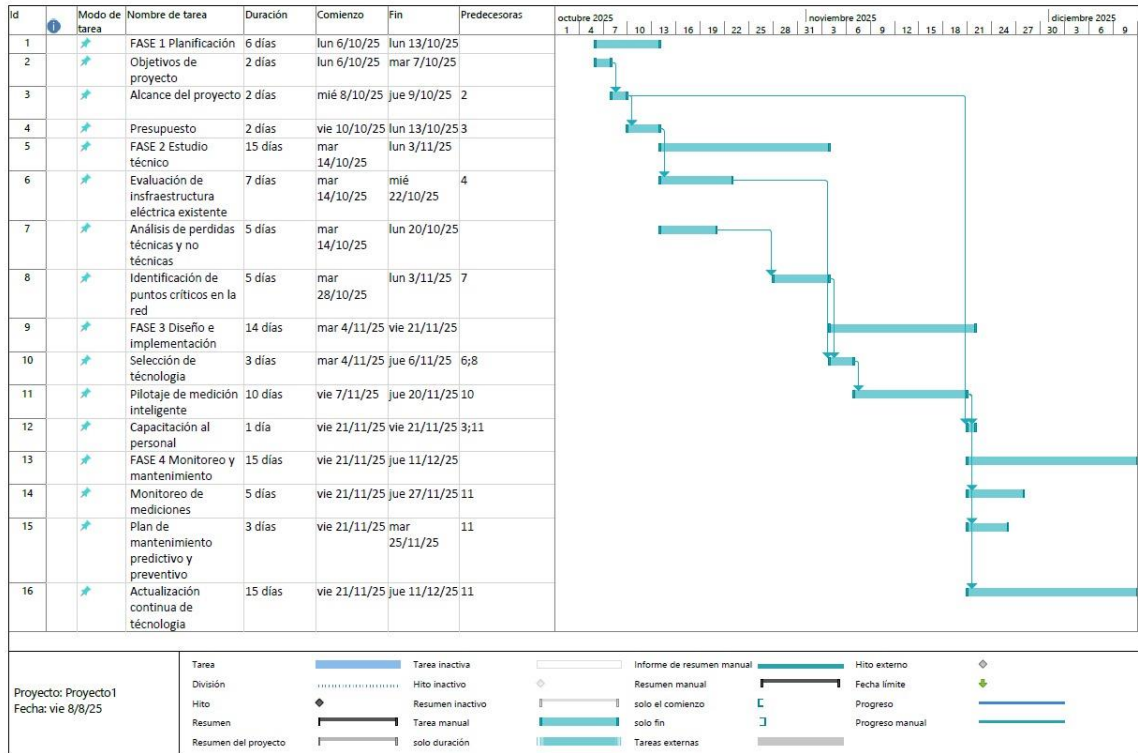
## 6.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO

A continuación, se detalla la estructura de desglose de trabajo (EDT), mostrando las actividades necesarias para el desarrollo del proyecto



**Figura 20 EDT**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)



**Figura 21 Cronograma de actividades**

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Se detalla presupuesto para la operativa del levantamiento e implementación de la propuesta.

**Tabla 6 Presupuesto**

Presupuesto estimado					
Item	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Medidores Inteligente	Und	26	L54,000.00	L1,404,000.00
2	Supervisores	Und	2	L34,000.00	L68,000.00
3	Tecnicos	Und	7	L28,000.00	L196,000.00
4	Analistas de dato	Und	2	L30,000.00	L60,000.00
5	Alquiler de vehiculos	Und	4	L50,000.00	L200,000.00
6	Herramientas	Global	1	L300,000.00	L300,000.00
<b>TOTAL</b>					<b>L2,228,000.00</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

**Tabla 7 Segmentos de la Tesis**

Capítulo I			Capítulo II	Capítulo III			Capítulo V	Capítulo VI	
Título de investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Teorías de sustento	Variables	Poblaciones	Técnica	Conclusiones	Nombre de la propuesta	Objetivos de la propuesta
<b>PROPUESTA DE UN DISEÑO PARA UNA IMPLEMENTACIÓN DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA DE HONDURAS</b>	Elaborar una propuesta de diseño para la implementación de una red inteligente en el sistema de distribución en Honduras, con el fin de mejorar la eficiencia energética, reducir las pérdidas y facilitar la integración de fuentes de energía renovable.	1. Evaluar el estado actual del sistema de distribución eléctrica en Honduras, identificando sus principales deficiencias y oportunidades de mejora. 2. Formular estrategias para reducir las pérdidas tanto técnicas como no técnicas en el sistema de distribución, utilizando tecnologías de Smart Grid. 3. Desarrollar una propuesta técnica para el diseño de una red inteligente, considerando tecnologías como medidores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real y automatización de la red.	1. Teoría de sistemas complejos. 2. Teoría de la gestión de la innovación tecnológica.	1. Situación actual. 2. Componentes de redes. 3. Factibilidad de implementación	Población Finita: a. 92 encuestas aplicadas a personas que tienen acceso al suministro de energía eléctrica. b. 4 encuestas aplicadas a personas que no tienen acceso al suministro de energía eléctrica.	1. Entrevistas a personas expertas en los sistemas de distribución en Honduras. 2. Cuestionarios hacia los consumidores finales de energía eléctrica.	1. En la investigación el 70% de los encuestados determinaron que sistema actual de distribución de Honduras carece de mantenimiento, así mismo el sistema se ve afectado por una serie de retos significativos, que incluyen tanto elevadas pérdidas técnicas como no técnicas. Además, la infraestructura presentada se encuentra en un estado de obsolescencia y opera con una falta evidente de monitoreo en tiempo real. Estas carencias no solo fomentan ineficiencias en las operaciones, sino que también repercuten negativamente en la calidad del servicio brindado a los usuarios. No obstante, este panorama también abre la puerta a oportunidades valiosas para llevar a cabo una modernización de la red eléctrica, utilizando tecnologías innovadoras de Smart Grid.  2. Una de las propuestas para las redes inteligentes en el sistema de distribución de Honduras en el tema de pérdidas en el sistema de distribución hondureño, tanto técnicas como no técnicas. Tecnologías como los medidores avanzados (AMI) facilitan la detección de fraudes y el monitoreo preciso del consumo, mientras que la automatización de subestaciones y redes permite una respuesta rápida ante fallas. Además, la integración de sistemas de comunicación bidireccionales mejora la gestión de la demanda y optimiza el flujo de energía. La implementación de estas soluciones aumentaría la transparencia y eficiencia del sistema, beneficiando tanto a las empresas distribuidoras como a los usuarios finales.  3. El estudio revela que, para llevar a cabo la propuesta se debe considerar las particularidades del sistema eléctrico nacional, incluyendo su infraestructura actual, capacidad técnica y necesidades de los usuarios. Es crucial invertir en la capacitación de técnicos y en la concientización de los consumidores para garantizar una adopción exitosa. Con un enfoque planificado, Honduras tiene la oportunidad de transformar su red de distribución en un sistema inteligente, resistente y sustentable, que esté en sintonía con las tendencias globales en la modernización del sector energético.	MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN HONDURAS: MEDICIÓN INTELIGENTE (AMI) Y ESTRATEGIA INTEGRAL DE MEJORAS	Elaborar una propuesta estratégica que permite abordar tanto la modernización tecnológica del sistema de medición y garantizar la estabilidad del suministro eléctrico hondureño a los usuarios.

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Yuri Lee, Juan Roberto Paredes, Soo Hyun Lee, (2012), Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles, Las-redes-inteligentes-de-energía-y-su-implementación-en-ciudades-sostenibles-RG-T2058.pdf

Centro Nacional de Despacho. (2022). Informe Anual de la Operación del Mercado Eléctrico Nacional. Tegucigalpa: CND.

Argemiro Aguilar Díaz, Pablo Roda, Gabriel Sánchez Sierra, 2012, Reflexiones sobre la implementación de redes inteligentes en el mem, <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe72.pdf>

Electricidad Perdida (2014). Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe.

Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials.

Oliveira, P., Martínez, R. y García, J. (2021). "Smart Grid Technologies for Distributed Generation Integration". IEEE Transactions on Power Systems, 36(2)

USAID (2021). Informe Final: Proyecto de Microrred Inteligente en Roatán. Washington: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

CEPAL (2023). Análisis de Políticas Energéticas en Centroamérica. Santiago: Comisión Económica para América Latina.

IEEE Power & Energy Society (2019). Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. IEEE Std 1547-2019.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

Merriam, S. B. & Tisdell, E. J. (2016). Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation (4th ed.). Jossey-Bass. p.p. 96-98

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). Smart grids en América Latina: Estudios de caso y lecciones aprendidas (Documento de Debate IDB-DP-00761).

Comisión Ministerio de Energía de Chile. (2021). Informe de Gestión de Pérdidas 2016-2021: Resultados del Programa de Medición Inteligente

Creg (Comisión de Regulación de Energía y Gas). (2020). Reporte Anual de Calidad del Servicio 2019-2020: Efectos de la Tele medición en Reducción de Pérdidas

## ANEXOS

### REGULACIONES DE VOLTAJE

**Tabla 8 Regulaciones de voltaje**

DESCRIPCION	AREA URBANA Y RURAL (%)
Para Líneas Primarias	5.0
Para Líneas Secundarias	5.0
Transformadores de Distribución	1.5

Fuente: (ENEE, 2011)

### ASIGNACIONES DE DEMANDA

En la figura 20 se muestra cómo se clasifican y se dividen los tipos de edificaciones según el área que estas tengan.

Edificación Suburbana: Menor que 60 metros cuadrados

Edificación tipo R-4: De 60 a 119 metros cuadrados

Edificación tipo R-3: De 120 a 150 metros cuadrados

Edificación tipo R-2: De 150 a 350 metros cuadrados

Edificación tipo R-1: De 350 metros cuadrados en adelante

**Figura 22 Clasificación de las edificaciones según su área**

Fuente: (ENEE, 2011)

**Tabla 9 Asignación de demanda según lote**

SECTOR	AREA DEL LOTE (M <sup>2</sup> )	KVA/LOTE
Edificación ingresos mínimos (aldeas y caseríos) Edificación suburbana (comunidad)	Menor de 75 M <sup>2</sup>	1.0
Edificación tipo R-4	75 a 149 M <sup>2</sup>	1.5
Edificación tipo R-3	150 a 189 M <sup>2</sup>	2.0
Edificación tipo R-2	190 a 439 M <sup>2</sup>	3.0
Edificación tipo R-1	440 M <sup>2</sup> o más	5.2

Fuente: (ENEE, 2011)

## CRECIMIENTO ANUAL DE LA CARGA

**Tabla 10** Factor de crecimiento de la carga anual

<b>EDIFICACION</b>	<b>FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL (%)</b>
Edificación ingresos mínimos (aldeas y caseríos), Edificación suburbana (comunidad)	3.00
Edificación tipo R-4	2.00
Edificación tipo R-3	1.50
Edificación tipo R-2	1.25
Edificación tipo R-1	1.00

Fuente: (ENEE, 2011)