



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

T E S I S

**PLAN DE CONTROL Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS
ELÉCTRICAS EN EL ALIMENTADOR 0781 DE LA
CONCESIONARIA ELECTROSUR S.A.
MOQUEGUA**

PRESENTADA POR

BACHILLER YULER ANTONIO EUGENIO MAMANI

ASESOR:

ING. ORLANDO ALFREDO CATARI TICONA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2022

CONTENIDO

PORTADA	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	x
ÍNDICE DE APÉNDICES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema	1
1.2 Definición del problema	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Justificación	3
1.5 Alcances y limitaciones	4
1.5.1 Alcances.....	4

1.5.2 Limitaciones.....	4
1.6 Variables.....	4
1.6.1 Variable Independiente.....	4
1.6.2 Variable Dependiente	4
1.6.3 Operacionalización de variables	5
1.7 Hipótesis de la investigación	6
1.7.1 Hipótesis General.....	6
1.7.2 Hipótesis Específicas.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	12
2.2 Bases teóricas.....	13
2.2.1 Sistema de distribución de energía eléctrica.....	13
2.2.2 Pérdidas de energía.....	15
2.2.3 Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM)	17
2.2.4 Balance energético.....	18
2.2.5 Indicador de pérdidas de energía eléctrica.....	19
2.2.6 Método de Impedancia.....	20
2.3 Definición de términos	27

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación.....	29
3.2 Diseño de la investigación.....	29

3.3	Población y muestra	30
3.3.1	Población	30
3.3.2	Muestra	30
3.4	Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	30

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Presentación de resultados.....	33
4.1.1	Ubicación Geográfica	33
4.1.2	Selección y descripción del alimentador.....	35
4.1.3	Tipo de clientes	35
4.1.4	Balance energético.....	36
4.1.5	Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua mediante la Toma de Decisiones de Múltiples Criterios (MCDM).....	46
4.2	Contrastación de Hipótesis	55
4.2.1	Contrastación de la Hipótesis General.....	55
4.2.2	Contratación de las Hipótesis Específicas	55
4.3	Discusión de resultados	56
4.3.1	Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua	56
4.3.2	Pérdidas de energía eléctrica.....	57

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	58
5.2	Recomendaciones.....	59

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÉNDICE.....	66
MATRIZ DE CONSISTENCIA	73

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2 Ponderación del método MCDM.....	31
Tabla 3 Clasificación de clientes por el tipo de tarifa	36
Tabla 4 Evaluación de pérdidas de la subestación 6274	37
Tabla 5 Evaluación de pérdidas de la subestación 6238	38
Tabla 6 Evaluación de pérdidas de la subestación 6290	38
Tabla 7 Evaluación de pérdidas de la subestación 6218	39
Tabla 8 Evaluación de pérdidas de la subestación 6236.	40
Tabla 9 Evaluación de pérdidas de la subestación 6258	40
Tabla 10 Evaluación de pérdidas de la subestación 6256	41
Tabla 11 Evaluación de pérdidas de la subestación 6278	42
Tabla 12 Evaluación de pérdidas de la subestación 6192	42
Tabla 13 Evaluación de pérdidas de la subestación 6320	43
Tabla 14 Evaluación de pérdidas de la subestación 6296	44
Tabla 15 Evaluación de pérdidas de la subestación 6167	44
Tabla 16 Evaluación de pérdidas de la subestación 6170	45
Tabla 17 Porcentajes y factores de expansión de pérdidas por sector	46
Tabla 18 Criterios de evaluación para el control y reducción de las pérdidas no técnicas.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
Figura 1. Sistema de distribución de energía eléctrica	14
Figura 2. Criterios evaluados de Energías Renovables	18
Figura 3. Diagrama unifilar del DN de la muestra.....	23
Figura 4. Modelo de circuito de cada tramo del sistema de distribución	24
Figura 5. Diagrama único de avería	27
Figura 6. Esquema de criterios MCDM	31
Figura 7. Modelo conceptual de la investigación	32
Figura 8. Red de decisiones	32
Figura 9. Cobertura del alimentador O781 de la Concesionaria ElectroSur S.A., Moquegua	34
Figura 10. Componentes del Plan de Control y Reducción de Pérdidas No Técnicas del Alimentador O781	48
Figura 11. Criterios de control de información.....	50
Figura 12. Criterios de control de conexiones	50
Figura 13. Criterios de Control de Consumos	51
Figura 14. Criterios de Control de Medición.....	51
Figura 15. Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Contenido de ecuaciones	Pág.
Ecuación 1 Indicador de pérdidas de energía eléctrica	20
Ecuación 2 Energía de pérdidas totales	20
Ecuación 3 Impedancia equivalente al final de cada sección	23
Ecuación 4 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j	24
Ecuación 5 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j	24
Ecuación 6 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j	24
Ecuación 7 Voltaje y la corriente al comienzo de cada sección	25
Ecuación 8 Voltaje y la corriente al comienzo de cada sección	25
Ecuación 9 Método de impedancia para determinar las fallas.....	25
Ecuación 10 Método de impedancia para fallas bifásicas	25
Ecuación 11 Ubicación y la impedancia de las fallas	26
Ecuación 12 Parámetros para determinar distancia y voltaje de fallas	26
Ecuación 13 Parámetros para determinar distancia y voltaje de fallas	26
Ecuación 14 Corriente de falla.....	27
Ecuación 15 Cálculo de pérdida en subestación	36

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo elaborar un Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesionaria ElectroSur S.A Moquegua, después de haber calculado que existen pérdidas de energía significativas en distintas sub estaciones que forman parte del alimentador O781. El tipo de investigación realizado fue básica y de diseño descriptivo simple. Empleamos el método de balance de energía en 13 subestaciones obteniendo un total de 58,95% de pérdidas de energía eléctrica en las subestaciones, motivo por el cual se procedió a realizar un Plan de Control y Reducción apoyado del método de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM), esta herramienta nos ayudó de manera teórica a identificar los criterios necesarios para el control y reducción de pérdidas eléctricas no técnicas, nos enfocamos en 4 criterios que luego fueron disgregados para su mejor análisis en: control de la información, control de conexiones, control de consumo y control de la medición, basados en estos 4 criterios logramos elaborar el Plan de Control y Reducción de Pérdidas con propuestas de corto, mediano y largo plazo, que fueron designadas por el decisor, que en este caso es el investigador. Finalmente se logró elaborar un Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesionaria ElectroSur S.A Moquegua

Palabras Clave: Pérdidas de energía, control y reducción

ABSTRACT

The present work aimed to develop a Control and Reduction Plan for electrical losses in the O781 feeder of the Electrosur S.A Moquegua concessionaire, after having calculated that there are significant energy losses in different sub-stations that are part of the O781 feeder. The type of research carried out was basic and of a simple descriptive design. We used the energy balance method in 13 substations obtaining a total of 58,95% of electrical energy losses in the substations, which is why we proceeded to carry out a Control and Reduction Plan supported by the Criteria Decision-Making method. Multiple (MCDM), this tool theoretically helped us to identify the necessary criteria for the control and reduction of electrical losses, we focused on 4 criteria that were later disaggregated for better analysis (information control, connection control, control consumption and measurement control), based on these 4 criteria, we were able to develop the Loss Control and Reduction Plan with short, medium and long-term proposals, which were designated by the decision maker. which in this case is the researcher. Finally, it was possible to prepare a Control and Reduction Plan for electrical losses in the O781 feeder of the Electrosur S.A Moquegua concessionaire.

Keywords: Energy losses, control and reduction

INTRODUCCIÓN

El presente estudio propone un procedimiento para la elaboración de un plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 en el Sistema de Distribución de la Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electrosur S.A.

Los análisis de pérdidas en el país, en muchos de los casos, no han sido tratados adecuadamente; sin embargo, debido a las ventajas que representan para la empresa distribuidora, si están debidamente justificados para mejorar los índices de las empresas en un mercado eléctrico exigente, representan una inversión que es plenamente rentable.

Las estadísticas de pérdidas eléctricas en las empresas distribuidoras muestran un problema de suma importancia; los porcentajes de pérdidas son elevados, lo que implica un despilfarro de recursos incompatibles con la eficiencia requerida por la colectividad (Lee et al., 2011).

Para Henriques et al., (2020), las pérdidas de energía en las empresas distribuidoras se refieren a dos situaciones: a los fenómenos de disipación que sucede en los componentes físicos del sistema, y debido a la existencia de la información en los procesos de recaudos de la venta de energía. Debido a estas dos causas, las pérdidas de energía eléctrica se han clasificado en dos:

- Pérdidas técnicas o físicas
- Pérdidas no técnicas o comerciales

Realmente las pérdidas en los sistemas de distribución son la suma de las ineficiencias, que a lo largo de un periodo de tiempo se produjo y reflejan los errores en la aplicación de criterios desde sus bases de conceptualización y diseño, hasta su sistema operativo, la falta en el control de ingeniería permite que el avance de un sistema produzca más pérdidas de energía, debido a la falta de procedimientos y herramientas para el tratamiento de pérdidas. Los índices de pérdidas miden el nivel de progreso de

una empresa distribuidora y por consecuencia, el progreso de una comunidad (Raposo et al., 2020).

Un problema de los sistemas de distribución es debido a que en ellos se encuentran gran cantidad de variables, de las cuales no de todas presentan información completa. Dentro de las pérdidas de energía pueden existir gran cantidad de causas, pero se debe saber cuáles atacar para de esta manera manejar un sistema ideal y recomendado para la empresa distribuidora, por lo que su estudio debe ser muy específico y claro (Apaza, 2017).

La metodología que se empleó es la Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM), ya que nos permitió elaborar un Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas a través de la evaluación de criterios de las pérdidas técnicas y no técnicas que presenta el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua; para calcular las pérdidas eléctricas en el alimentador nos basamos en el balance de energía. El diseño de la investigación es descriptivo, porque se empleó criterios de evaluación para la elaboración del Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema

Las demandas cada vez mayores de energía eléctrica, las limitadas reservas de combustibles convencionales, el cambio climático, el deseo de independencia energética y la diversificación de las fuentes de energía, ponen en foco la producción distribuida de energía eléctrica a partir de fuentes renovables como elemento clave para lograr un desarrollo sostenible. Dado que la mayor parte de la electricidad generada en los países se consume en los hogares, los edificios y la industria, la idea es acercar la producción de energía distribuida a los consumidores finales, es decir, al nivel de distribución de energía del sistema de energía eléctrica general. Por lo tanto, el sistema de distribución de energía deja de ser una parte pasiva del sistema de energía eléctrica y comienza a participar activamente en la producción de energía eléctrica (Novoselnik et al., 2017).

A pesar de todas las ventajas de la producción distribuida de energía eléctrica, la penetración cada vez mayor de fuentes de energía renovables intermitentes y otras fuentes distribuidas plantea grandes desafíos para los sistemas de distribución de electricidad. Los desafíos se relacionan principalmente con el mantenimiento de la estabilidad de la red al

tiempo que se cumplen los códigos de la red para garantizar un suministro de energía confiable y eficiente a todas las entidades de consumo distribuidas espacialmente en la red de distribución (Novoselnik et al., 2017).

La red eléctrica incluye tres unidades: producción, transmisión y distribución. Una vez que la energía eléctrica se produce en las centrales eléctricas, se transmite a los consumidores a través de redes de transmisión y distribución. En este camino se pierde algo de energía por diferentes motivos. La investigación de las pérdidas en la comunidad de la ingeniería eléctrica es una necesidad ineludible. Sin embargo, las pérdidas existentes en el nivel de transmisión y producción son casi inevitables. Considerando la necesidad de este tema y la decisión del gobierno de implementar subsidios focalizados, todas las organizaciones relevantes (empresas regionales de electricidad y empresas de distribución) están obligadas a minimizar las pérdidas en su propio dominio operacional considerando cronogramas específicos que se determinan anualmente y se imparten en un tiempo específico, para ahorrar electricidad, que es una riqueza nacional (Farshchian et al., 2020).

Las pérdidas totales de energía eléctrica durante el año 2016 fueron de 5 483,52 GW.h, valor que representa el 11,3% de la energía bruta nacional producida (51 686,83 GW.h). De acuerdo al tipo de sistema eléctrico, las mayores pérdidas corresponden a la transmisión de energía con una participación de 64% del total y, el 36% corresponde a las pérdidas en los sistemas de distribución de energía eléctrica (MINEM, 2016).

1.2 Definición del problema

1.2.1 Problema General

¿Será posible realizar un plan de control para la disminución de las pérdidas de energía del alimentador O781 de la concesión Electrosur S.A. Moquegua?

1.2.2 Problemas Específicos

PE1: ¿Cuáles son los factores que generan pérdida de energía eléctrica en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua?

PE2: ¿Cuánto es la pérdida eléctrica del alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar el plan de control y reducción de pérdidas eléctricas para disminuir las pérdidas de energía eléctrica en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua en el periodo 2021.

1.3.2 Objetivos Específicos

OE1: Identificar los factores que generan pérdida de energía eléctrica en el alimentador O781 de la concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua.

OE2: Determinar las pérdidas eléctricas del alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua.

1.4 Justificación

El presente trabajo propone una alternativa de reducción y/o control de pérdidas de energía eléctrica. La cual analice y resulte la menor cantidad de pérdidas de energía, regularice según normativa peruana el perfil de tensión (caída de tensión) y la capacidad de distribución de potencia en la red. Para la solución de dicho problema se utilizarán criterios técnicos que permitan analizar las combinaciones posibles de la configuración de la red, teniendo en cuenta las restricciones impuestas y de esta manera poder arribar a la solución del problema. Los resultados obtenidos probarán la posibilidad de reducir las pérdidas de energía en forma significativa para el sistema estudiado (Apaza, 2017).

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El presente estudio tiene el alcance de hacer un plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión Electrosur S.A. Moquegua.

1.5.2 Limitaciones

Las pérdidas de energía eléctrica no pueden ser disminuidas por completo ya que en el proceso que lleva la energía desde las plantas generadoras hasta el cliente final, hay pérdidas por calentamiento en los conductores y otras en los núcleos ferromagnéticos, que pueden ser disminuidas, pero no eliminadas (Apaza, 2017).

Una de las principales limitaciones es la falta de programas que ayuden y aporten con el control y reducción de pérdidas de energía eléctricas.

1.6 Variables

1.6.1 Variable Independiente

Pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión Electrosur S.A. Moquegua.

1.6.2 Variable Dependiente

Plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión Electrosur S.A. Moquegua

1.6.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Unidad de medida / Escala	Instrumentos de medición
Independiente: Pérdidas de energía eléctrica	Es el conjunto de pérdidas eléctricas de un sistema debidas a fenómenos físicos. Estas se deben a las condiciones propias de la conducción y transformación de la energía eléctrica. (Ochoa, 2010)	Pérdidas totales de energía	% de kWh	Medidor de energía eléctrica Apéndice 1-A
Dependiente: Plan de control y reducción de pérdidas eléctricas	Conjunto de acciones encaminadas al control y reducción de pérdidas eléctricas, mediante la elaboración de un plan que contribuyan a dicho fin.	Reducción de pérdidas de energía eléctrica. Calidad del producto y del servicio. Relación entre el cliente y la empresa.	Muy Bueno Bueno Malo	Cumplimiento de métricas Apéndice 1-B

1.7 Hipótesis de la investigación

1.7.1 Hipótesis General

El Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas disminuye significativamente las pérdidas de energía eléctrica en el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua.

1.7.2 Hipótesis Específicas

HE1: Los factores que generan mayor pérdida de energía eléctrica son por el tipo de pérdidas no técnicas.

HE2: Se presenta pérdidas eléctricas significativas en el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Los siguientes artículos científicos sustentan el trabajo de investigación.

Dashti et al. (2021) en su estudio revisa e investiga los temas de predicción y localización de fallas. Con este fin, se revisan primero los métodos y puntos de vista existentes en el contexto de la predicción de fallas; luego, se investiga la ubicación de la falla. Este artículo investiga varios métodos, sus ventajas, desventajas, informes técnicos y patentes en redes de distribución convencionales, redes inteligentes y microrredes. La comparación de este estudio con otros estudios indica que es más completo y, a pesar de otros, cubre la predicción de fallas. Además, incluye una revisión actualizada de los métodos de medición de distancia y localización de fallas considerando diferentes tipos de redes (AC / DC), presencia de DG, estándares de comunicación y automatización, medición síncrona y no síncrona, medición magnética y estimación de estado. Métodos basados en la localización de fallas.

Farshchian et al. (2020) en su investigación abordó un proyecto de investigación de priorización de pérdidas con un estudio de caso sobre la distribución eléctrica de Teherán, para aumentar su productividad. Los gerentes y expertos de la Compañía de

Distribución Eléctrica de Teherán componían la población de investigación. La recopilación de datos se llevó a cabo mediante la recopilación de opiniones de expertos mediante un cuestionario. A continuación, se utilizó la técnica del Laboratorio de Evaluación y Ensayo de Toma de Decisiones (DEMATEL) para realizar una comparación entre los factores identificados, mientras que se utilizó la técnica de Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR) para seleccionar las alternativas óptimas. El enfoque de este artículo es doble. Dado que la distribución de energía es uno de los indicadores importantes en la competitividad, esta investigación se realiza para evaluar las pérdidas de energía. Además, la combinación de técnicas de toma de decisiones se emplea para la evaluación, ponderación y clasificación de los atributos de pérdidas de potencia de la red de distribución eléctrica. Como resultado, se identificaron los factores más importantes y efectivos en el desarrollo de pérdidas de energía a lo largo de las redes de distribución de energía y se determinó la alternativa óptima para mejorar la tendencia de las actividades de modificación y optimización en la red de distribución. En este contexto, la pérdida técnica se clasifica como primera y la pérdida no técnica se clasifica como segundo criterio.

Gord et al. (2020) investigaron sobre un novedoso método de localización de fallas aplicado a redes distribuidas con generación distribuida. El método propuesto es un método híbrido de dos pasos que identifica la ubicación precisa de la falla utilizando información almacenada en la red antes y después de la falla. El método propuesto emplea información de voltaje y corriente al comienzo del alimentador para estimar la distancia de falla en el primer paso. La distancia estimada estará asociada a varios tramos similares considerando la topología de las redes distribuidas. En el segundo paso, el método propuesto determina la ubicación exacta de la falla mediante un análisis transitorio basado en el componente de frecuencia. En este paso, se identifica la ubicación exacta de la falla.

Para investigar su rendimiento, se simula una red IEEE-11 estándar en MATLAB. Además, los experimentos se llevan a cabo en un simulador de potencia de red, mostrando buenos resultados.

Esta investigación desarrollado por Bretas et al. (2020), presenta un marco basado en modelos físicos híbridos impulsados por datos para la estimación no técnica de pérdidas de energía de redes de distribución. La pérdida de energía no técnica se define como energía entregada a los consumidores, pero no facturada por la empresa de servicios públicos. Estas pérdidas, a diferencia de las pérdidas técnicas, no son inherentes al proceso de transporte de electricidad. Las soluciones de vanguardia para la estimación de pérdida de potencia no técnica se basan en datos o en modelos físicos. Sin embargo, debido a la naturaleza cambiante de las pérdidas de energía no técnicas, las soluciones basadas en datos por sí solas no son suficientes. Las soluciones analíticas basadas en modelos físicos, de lo contrario, que consideran un modelo de sistema cuasi estático, se basan únicamente en la observación de fenómenos físicos; sin embargo, es prácticamente imposible modelar toda la dinámica de la cuadrícula. En este caso, el nexo de modelos analíticos basados en modelos físicos, basados en datos, permite la solución del problema. El marco híbrido se compone de tres procesos interdependientes. Primero, se realiza un análisis de flujo de carga desequilibrado para obtener una estimación inicial del estado del sistema operativo. En segundo lugar, se aplica un método basado en datos para la clasificación de consumidores. En tercer lugar, las mediciones sintéticas se crean considerando la innovación de la medición y la n-tupla de mediciones críticas con el objetivo de mejorar el análisis de errores brutos. La validación de la solución se realiza considerando los alimentadores de prueba de desequilibrio IEEE de 4, 13 y 123 buses. Los resultados de las pruebas comparativas destacan la disminución de los errores de estimación de pérdida de potencia no técnicos. La simplicidad de implementación, con

parámetros fáciles de obtener, basados en el estimador de estado de mínimos cuadrados ponderados clásico, indica aspectos potenciales para aplicaciones de la vida real.

Henriques et al. (2020), propusieron una nueva metodología para mejorar el cálculo de las pérdidas técnicas (TL), conduciendo a una mejor estimación de la mitigación de pérdidas no técnicas, utilizando sensores de temperatura. También se presenta un nuevo proceso para identificar posibles ubicaciones de robo de energía utilizando diferencias de caída de voltaje. La identificación de posibles puntos de robo de energía se realiza con la ayuda de la medición de pérdidas técnicas obtenidas en los primeros tramos de la red de baja tensión, cerca del transformador, donde la TL es más significativa. Se utiliza un algoritmo de barrido hacia atrás / adelante que utiliza la técnica de suma de potencia para calcular las caídas de voltaje en dos situaciones: con datos de potencia leídos solo de los medidores inteligentes y datos de potencia que incluyen las lecturas de TL. Un análisis de las diferencias en la caída de tensión en cada punto entre las dos situaciones permite localizar al probable ladrón de energía.

Raposo et al. (2020) propusieron una metodología para la asignación de medidores en redes de distribución orientada a la estimación de estados. El enfoque propuesto considera que la colocación de medidores se realiza simultáneamente con la Reconfiguración de la Red de Distribución (DNR) para la reducción anual de pérdidas de energía. Esta formulación del problema de asignación evita que la precisión del estimador de estado (SEA) se degrade cuando se cambia la topología y que se instale un número excesivo de medidores para obtener una precisión aceptable. Estos objetivos se lograron mediante una formulación multiobjetivo que minimiza las pérdidas resistivas, el riesgo de violar la SEA y la cantidad de medidores instalados en la red. El problema de la ubicación del medidor formulado en este documento se resuelve mediante el algoritmo genético de clave aleatoria sesgada multiobjetivo (MOBRKGA). Los resultados de las

pruebas demuestran que MOBRKGA puede generar soluciones de alta calidad con una reducción significativa en las pérdidas de energía anuales y el sistema de medición con buena precisión y bajo costo de instalación.

Monteiro et al. (2018) en su investigación tuvo como objetivo, analizar el uso de Almacenes de Energía Eléctrica (AEE) a través de la reducción de pérdidas técnicas a medio plazo en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Para alcanzar esta meta, se realizó un análisis técnico que probó 4 casos de estudio, considerando demanda variable, con AEE distribuidos y concentrados. Los análisis muestran que el uso de AEE a medio plazo puede evitar significativamente pérdidas técnicas en el sistema de distribución de energía eléctrica.

En la investigación de Ibrahim et al. (2017), presentan un enfoque analítico integrado para estimar las pérdidas técnicas (TL) de la red de distribución de media tensión (MT). El concepto de flujo de energía en una red de distribución de MT radial se modela utilizando alimentadores representativos (RF) caracterizados por la demanda de potencia máxima del alimentador, la longitud del alimentador, la distribución de carga y el factor de carga para desarrollar las ecuaciones analíticas genéricas de TL. El enfoque de estimación de TL se aplica a la red de distribución de MT típica de servicios públicos equipada con medidores de energía en la subestación de interfaz de transmisión / distribución (TDIS) que registran la energía de entrada mensual y la demanda máxima de energía a las redes de distribución. Los parámetros de entrada adicionales para la estimación de TL provienen de los amperímetros de los alimentadores de MT primarios y secundarios salientes. Los modelos desarrollados se han demostrado a través de un estudio de caso realizado en una red de distribución de MT suministrada desde la red a través de un TDIS con una demanda máxima total registrada de 44,9 MW, conectada a cuatro (4) alimentadores de 33 kV, cuatro (4) 33/11 Transformadores de 30 MVA kV y

doce (12) alimentadores de 11 kV. El resultado muestra un estrecho acuerdo con TL proporcionado por la compañía eléctrica local. Con RF, el enfoque podría ampliarse y aplicarse para estimar la TL de cualquier red de distribución de MT radial de diferentes tamaños y demografía.

Lee et al. (2011) han desarrollado modelos simplificados de pérdida de potencia basados en ANN (técnica computacional diseñada para simular el desempeño humano en la resolución de problemas) con el algoritmo Levenberg-Marquardt (LM) para alimentadores aéreos y subterráneos, respectivamente. El análisis de flujo de carga trifásico se ejecuta para obtener la sensibilidad de la pérdida del alimentador con variaciones en la carga de potencia, la longitud del conductor y la capacidad total de los transformadores de distribución. A través de esto, el conjunto de datos para el entrenamiento de redes neuronales se prepara para derivar los modelos simplificados de pérdida de energía basados en ANN. La pérdida de energía de cada alimentador de distribución se puede derivar fácilmente de los factores clave de carga por hora, longitud del alimentador y capacidad del transformador. Al integrar la pérdida de potencia de todos los alimentadores, se puede obtener la pérdida de potencia de todo el sistema de distribución para estimar la eficiencia operativa del sistema Taipower.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Se realizó una recopilación de investigaciones nacionales que aportan a la investigación.

Paricahua y Fernández (2017) realizaron el estudio de pérdidas de media y baja tensión en la empresa Electro Puno desarrollando un plan de sostenimiento del nivel de pérdidas. También elaboraron una investigación de las experiencias y conocimientos aplicando las buenas prácticas en el progreso de los proyectos de la empresa Electro Puno. Se necesita realizar un estudio para la discriminación de las pérdidas de energía técnicas a nivel de toda la concesionaria.

Apaza (2017) identificó las pérdidas en el Sistema de Distribución desde la cabecera del alimentador hasta el cliente final de la Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electro Puno S.A.A. (ELPU), evaluando la energía que se emite en cada alimentador, sus componentes y sus perjuicios hasta el sistema. Se empleó la metodología basada en el uso de programas computacionales y equipos de medición, se evaluó un plan de reducción y control y finalmente se desarrolló un análisis de costo – beneficio para la empresa (ELPU) con la implementación del programa de pérdidas.

Monta (2009) en su investigación determinó las pérdidas técnicas en potencia y energía en la red aérea de distribución secundaria del alimentador “Bellavista” perteneciente a la Subestación Loreto, mediante la aplicación de la metodología propuesta por Administración de Electrificación Rural (REA) obteniendo como resultados un análisis de comparación e interpretación para determinar las pérdidas de energía en la red aérea de distribución secundaria aplicando la REA.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema de distribución de energía eléctrica

Los sistemas de distribución de energía eléctrica están compuestos por componentes heterogéneos, que incluyen fuentes de energía continua, relés discretos, cargas pasivas y activas y subsistemas de conversión de energía de conmutación rápida. Esta heterogeneidad presenta desafíos importantes para el diagnóstico basado en modelos, como la construcción de modelos precisos y la generación de diagnósticos rápidos y precisos, al tiempo que garantiza la solidez del ruido de medición y los errores de modelado. Estos sistemas de distribución de energía eléctrica incluyen componentes de DC y CA (Roychoudhury y Daigle, 2009).

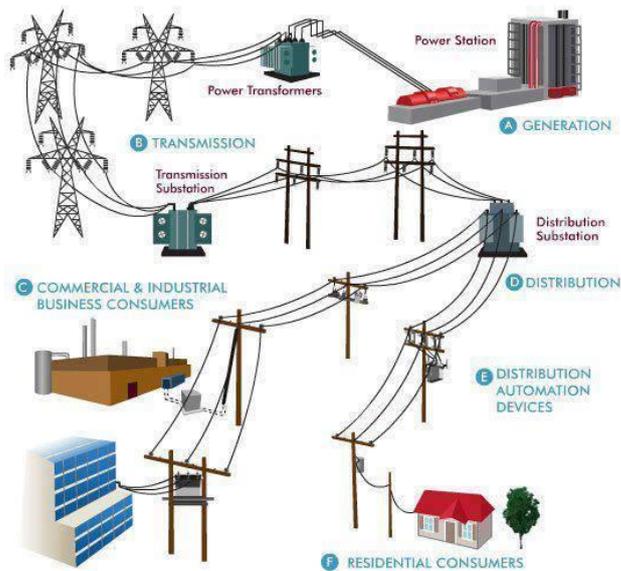


Figura 1. Sistema de distribución de energía eléctrica

Fuente: Mayer, 2012

Se tiene 2 etapas de distribución de energía eléctrica:

Primera etapa: Red de reparto

Parte de las subestaciones de transformación, reparte la energía generalmente a través de anillos que rodean los centros de consumo hasta finalmente llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones empleadas oscilan entre 25 kV y 132 kV. Entre los anillos se encuentran las estaciones transformadoras de distribución cuyo propósito es reducir la tensión entre el nivel de reparto al de distribución en media tensión (Mayer, 2012).

Segunda etapa: Distribución propiamente dicha

Esta red abarca la toda la superficie de los grandes centros de consumo (industrias, población, entre otros) con tensiones de funcionamiento de 3 kV a 30 kV, uniendo los centros de transformación con las estaciones transformadoras de distribución; los centros de transformación son la última etapa de suministro en media tensión dado que, las tensiones de salida de los centros es de baja tensión (125/220 V o 220/380 V) (Mayer, 2012).

2.2.2 Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía equivalen a la diferencia entre la energía comprada y la energía vendida y pueden clasificarse como pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas o comerciales (llamadas comúnmente pérdidas negras) (Chalá y García, 2012).

2.2.2.1 Pérdidas técnicas

Este tipo de pérdidas forman parte de la energía que no es aprovechadas y que el sistema necesita para su operación; es decir, es decir es la energía que se pierde en los diferentes componentes del sistema de distribución (elementos, redes y equipos) y que se emplean para conducir y transformar la electricidad (Chalá y García, 2012).

Representan la energía que se pierde durante la transmisión dentro de la red y la distribución como consecuencia de un calentamiento natural de los conductores que transportan la electricidad desde las plantas generadoras (Chalá y García, 2012).

Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema
- Estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes
- Proyección de la carga
- Analizar la ubicación óptima de transformadores y usuarios
- Realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios
- Revisión de los criterios de expansión (Chalá y García, 2012).

2.2.2.2 Pérdidas no técnicas

La naturaleza de las pérdidas no técnicas o comerciales no es una pérdida directa de energía, sino que se refiere a aquellas pérdidas económicas que son causadas por cortes de energía o problemas de calidad de la energía (Farshchian et al., 2020).

Las pérdidas no técnicas se pueden clasificar de acuerdo los siguientes criterios:

a. *Clasificación según la causa que las produce:*

- Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando: Comprende fundamentalmente la conexión directa de usuarios del servicio a una red sin haber suscrito un contrato o acuerdo con la empresa distribuidora de energía. (Apaza, 2017)
- Error en la contabilización de energía: Comprende todos los errores de medición de contadores de energía, lectura y facturación de suscriptores excluyendo de este grupo a los casos de adulteración de los equipos de medición.
- Error en consumo estimado (de suscriptores sin contador de energía): Comprende a todos aquellos suscriptores que por cualquier motivo son facturados por una estimación de su consumo,
- Fraude o hurto: Comprende todos los casos en los que el usuario, siendo un suscriptor de la empresa distribuidora de energía, altera intencionalmente el equipo de medición o toma directamente la energía de la red.
- Error en consumo propio de las empresas distribuidoras: Comprende la energía consumida y no contabilizada por la empresa encargada de la distribución. Incluye generalmente el consumo no medido de auxiliares de subestaciones, alumbrado público, etc. (Pascual, 2019).

b. *Clasificación según relación con la actividad administrativas de la empresa:* Es evidente que un sistema de medición defectuoso o que no se aplique en forma estrictamente periódica, procesos de facturación inadecuados e incapacidad para detectar y controlar las conexiones ilegales son un reflejo de la capacidad administrativa de la empresa distribuidora, o la falta de mecanismos legales para actuar (Chalá y García, 2012).

2.2.3 Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM)

La toma de decisiones es un proceso común en la rutina de las personas, quienes se encuentran expuestos a distintas situaciones y contextos que requieren ser evaluados en base a la mayor cantidad de necesidades satisfechas. Para poder realizar una toma de decisiones adecuada es necesario fijar un objetivo y juntar toda la información requerida y relevante; esta actividad es muy importante dentro de la gestión de proyectos, a la hora de enfrentarse a situaciones adversas, tienen la necesidad de tomar buenas decisiones. Es por ello que se desarrolla el método de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples como una herramienta muy eficaz en la elaboración de proyectos o planes, con el fin de mitigar o controlar algunos problemas que puedan presentarse dentro una empresa o institución (Eckert, 2019)

El Análisis o Teoría de Decisión con Múltiple Criterios (MCDA o MCDM, del inglés Multiple Criteria Decision Analysis/Methodology) es una herramienta muy importante para ayudar al decisor durante este proceso de toma de decisiones. Es considerado como una herramienta analítica de gran potencial en los procesos de ingeniería. Consta de dos enfoques: uno es conceptual, cuando los objetivos presentan problemas y es necesario un equilibrio, y otro es operativo, que se entiende como una secuencia de pasos en las que es necesario evaluar y elegir entre criterios o alternativas. Es un procedimiento que combina criterios cualitativos y cuantitativos para obtener como resultado una solución o compromiso (Dadda y Ouhbi, 2014).

Un uso adecuado de la metodología MCDM implica comprender todas las perspectivas del problema, y de ser necesario una interconexión entre los criterios. Este método requiere un procedimiento para estructurar las decisiones, compensar los criterios

para facilitar el análisis, los juicios y las decisiones del investigador (Kahraman y Kaya, 2010).

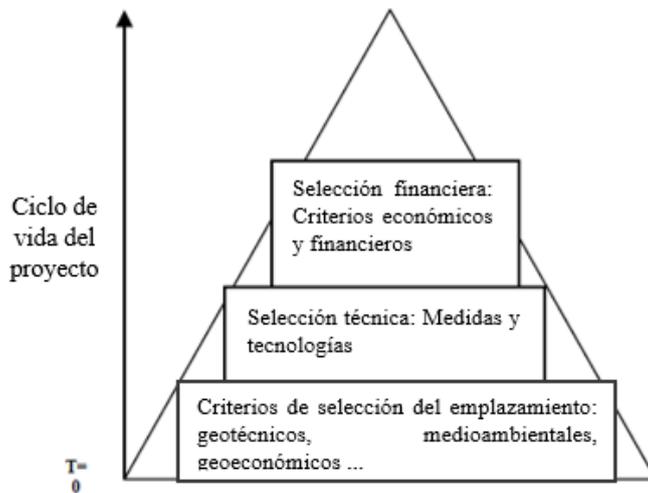


Figura 2. Criterios evaluados de Energías Renovables

Fuente: Kahraman y Kaya, 2010.

Este método distingue 5 tipos principales de resultados que podrían considerarse según Roy y Słowiński (2013):

Tipo 1: Asignar un valor numérico (puntaje) a cada criterio de evaluación.

Tipo 2: Clasificar los criterios. Este tipo de resultado solo se considera si las acciones potenciales se conocen a priori.

Tipo 3: Seleccionar subcriterios, lo más pequeño posible para poder disgregar el problema lo mejor que se pueda.

Tipo 4: Asignar cada acción a una o varias categorías

Tipo 5: Proporcionar un subconjunto de acciones potenciales que disfruten de algunas propiedades notables, para servir como base en la siguiente etapa del proceso de ayuda a la decisión.

2.2.4 Balance energético

Las transferencias de energía internas o externas se dan en todo sistema eléctrico, para poder obtener datos muy relevantes de la operación de un sistema en un periodo de tiempo

es necesario realizar balances de energía ya que presenta datos importantes de energía (kW-h), potencia (kW) y dinero. Un balance de energía y su respectivo análisis te deben brindar información de calidad, suficiente y oportuna de cómo se desarrolló la operación del sistema (Castro y Florián, 2016)

Según Castro y Florián (2016) la exactitud del balance de energía y la valoración de pérdidas totales está compuesta por las siguientes actividades:

1. Precisión de las mediciones de energía (producción y facturación)
2. Sincronización entre las lecturas y evaluación de energía pendiente de facturación.
3. Precisa contabilización de la energía facturada en el periodo estimado.
4. Calidad de equipos y su respectivo mantenimiento.
5. Personal capacitado.
6. Óptimos diseños de ingeniería.
7. Manipulación correcta de los equipos y/o instrumentos.
8. Medidas correctivas oportunas.
9. Eficiente administración de los clientes.
10. Implementación de reglamentos o instructivos, supervisión de su vigencia y cumplimiento.
11. Aprovechar el uso de nuevas tecnologías.

2.2.5 Indicador de pérdidas de energía eléctrica

Este indicador tiene por objetivo primordial lograr una alta rentabilidad en una empresa distribuidora de energía eléctrica. Debido a que resume inversiones y gastos, operaciones realizadas, con la finalidad de medir, controlar y analizar la toma de decisiones de manera asertiva a nivel gerencial, con el objetivo de efectuar el cumplimiento de estándares

implantados por el ente regulador. La unidad de medida apreciada en las pérdidas de energía es el porcentaje, éste refleja la reducción de pérdidas de energía eléctrica mediante el cual se puede evaluar, planificar y ejecutar proyectos para la disminución del porcentaje de pérdidas (Castro y Florián, 2016).

En base a parámetros y elementos del sistema eléctrico se puede determinar el indicador de pérdidas. Este indicador está relacionado a las pérdidas totales de energía del sistema y a la energía suministrada (Celin y Rodríguez, 2011), como se aprecia en la siguiente ecuaciones:

Ecuación 1 *Indicador de pérdidas de energía eléctrica*

$$\%E_{P_{tot}} = \frac{E_{P_{tot}}}{E_s} * 100 \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Donde:

$\%E_{P_{tot}}$: Indicador de pérdidas

$E_{P_{tot}}$: Energía de pérdidas totales

E_s : Energía suministrada

La ecuación 2 nos indica que la energía de pérdidas totales es la sumatoria de las pérdidas técnicas y no técnicas.

Ecuación 2 *Energía de pérdidas totales*

$$E_{P_{tot}} = E_{técnicas} + E_{no técnicas} \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$

2.2.6 Método de Impedancia

Los métodos que se han presentado recientemente para la localización de fallas en los sistemas eléctricos miden el voltaje y la corriente en un lado o en ambos lados de la línea para calcular la distancia de la falla. Estos métodos se clasifican en las siguientes tres clases (Gord et al., 2020):

- Métodos basados en la frecuencia principal de las señales de tensión y corriente (métodos de impedancia)
- Métodos basados en ecuaciones diferenciales.
- Métodos basados en ondas transitorias y componentes de alta frecuencia del voltaje y la corriente (Ondas viajeras).

Las líneas defectuosas deben detectarse, repararse y conectarse nuevamente en un tiempo mínimo para mejorar el restablecimiento del suministro eléctrico. Se han presentado muchos métodos para determinar la distancia de falla en las redes de distribución. En el pasado, las redes eléctricas estaban protegidas por relés mecánicos y no era posible acceder a los datos de voltaje y corriente. Por lo tanto, la localización de fallas se realizó a través de operadores y patrullaje línea por línea. Además, de esta manera, el uso de conocimientos expertos en la localización de fallas en alimentadores es muy importante y adecuado. En este método práctico tradicional, la línea se divide primero en dos o más partes abriendo los interruptores de energía instalados a lo largo de la línea PDS. Luego, cambian desde el principio del alimentador para detectar la parte defectuosa. Entonces, si se interrumpe, significa que la falla está en la sección entre la subestación y el primer interruptor de alimentación abierto; de lo contrario, la falla está en otras secciones después del primer interruptor de alimentación. Este proceso debe continuar hasta que el grupo de mantenimiento encuentre la sección de falla. Esta acción se repite en todos los alimentadores para determinar el punto y la ubicación de la falla. Cabe señalar que en los lugares donde la línea no tiene interruptores de energía en el medio de la línea, los operadores abren los puentes y realizan las mismas acciones mencionadas anteriormente. Luego, con el avance de la tecnología, se instalaron interruptores de energía como reconectores y seccionadores junto con los alimentadores y la información de desempeño relevante, la sección defectuosa se localiza

más rápido que antes. Hoy, localizadores de fallas como el sel400 ingresaron a las líneas de transmisión. Además, los relés de distancia instalados tienen un localizador de fallas que solo se usa en líneas de transmisión. Además, en la actualidad, algunos reconectores como ABB, Tavrida, Entech, tienen una parte de localización de fallas. Esta pieza de localización de fallas es precisa para líneas rectas sin laterales ni ramas y necesita condiciones de carga especiales. Algunos indicadores de falla están instalados en los alimentadores. Cuando ocurre una falla aguas abajo de estos indicadores, encienden la luz intermitente y envían un mensaje para que el operador sepa que ocurrió la falla. Además, se han presentado otros métodos que utilizan un amperímetro alarmante, osciloscopio automático; pero estos métodos no se han utilizado ampliamente porque requieren una operación y habilidades primarias, además de ser lentos e imprecisos. Por lo tanto, estos métodos prácticos no pueden resolver la falla (Dashti et al., 2021).

2.2.6.1 Determinación de la distancia de falla usando el método basado en impedancia

El autor Dashti et al. (2021) realizó la determinación de la distancia de falla empleando el método de la impedancia. En su investigación, el primer grupo incluye los métodos que emplean componentes de frecuencia principal (50 o 60 Hz) de los voltajes y corrientes, parámetros de línea e información de carga para estimar la ubicación de la falla. Por lo tanto, se calcula la impedancia vista desde el principio del alimentador y luego se estima la distancia de falla usando un algoritmo heurístico. Estos métodos son baratos y sencillos; pero tienen que lidiar con el problema de respuesta múltiple (en DN).

a) Determinación de la carga equivalente al final de cada sección.

En esta parte, considerando la figura 3, se describe el cálculo de la impedancia de carga equivalente al final de cada sección.

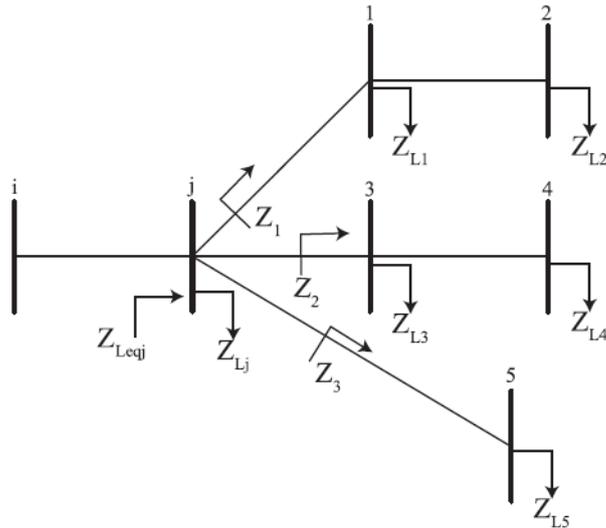


Figura 3. Diagrama unifilar del DN de la muestra.

Fuente: Dashti et al., 2021

Si ocurre una falla entre el bus i y el bus j, la impedancia equivalente al final de cada sección (la impedancia equivalente en el bus j) debe determinarse de la siguiente manera:

Ecuación 3 Impedancia equivalente al final de cada sección

$$Z_{Leqj} = (z_1^{-1} + z_2^{-1} + z_3^{-1} + z_4^{-1})^{-1} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 3}]$$

Las impedancias Z_1 , Z_2 y Z_3 se determinan mediante el cálculo de la impedancia equivalente vista desde el j-ésimo nodo. Las impedancias de carga y las impedancias de línea se ponen en serie o en paralelo para calcular estas impedancias. Cabe mencionar que para cada tramo se utiliza el modelo de línea distribuida para obtener una mayor precisión, como se muestra en la figura 4:

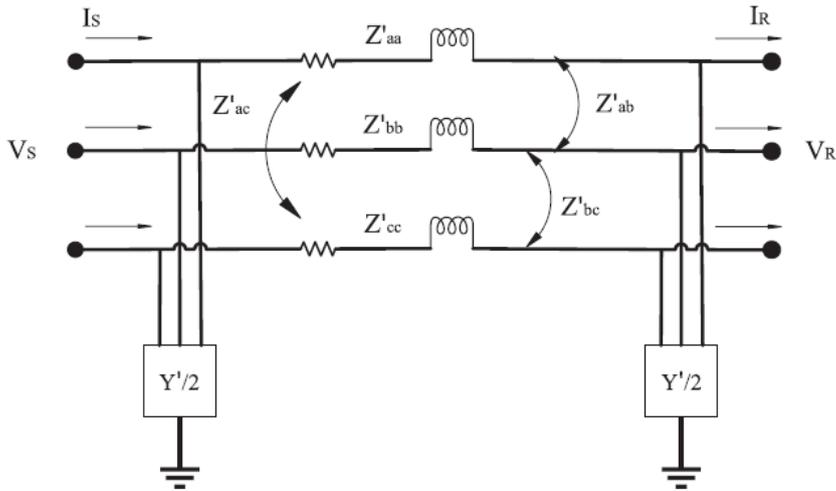


Figura 4. Modelo de circuito de cada tramo del sistema de distribución

Fuente: Dashti et al., 2021

Las siguientes ecuaciones muestran cómo se determina la impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j.

Ecuación 4 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j

$$Y_1 = \left(\left[\left(Z_{L2}^{-1} + \frac{Y'_{12}}{2} + Z'_{12} \right)^{-1} + \frac{Y'_{12}}{2} + Z_{I4}^{-1} + \frac{Y'_{j1}}{2} \right] + Z'_{j1} \right) + \frac{Y'_{j1}}{2} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 4}]$$

Ecuación 5 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j

$$Y_2 = \left(\left[\left(Z_{L4}^{-1} + \frac{Y'_{34}}{2} + Z'_{34} \right)^{-1} + \frac{Y'_{34}}{2} + Z_{I3}^{-1} + \frac{Y'_{j3}}{2} \right] + Z'_{j3} \right) + \frac{Y'_{j3}}{2} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 5}]$$

Ecuación 6 Impedancia equivalente de cada sección conectada al nodo j

$$Y_3 = \left(\left[\left(Z_{L5}^{-1} + \frac{Y'_{j5}}{2} \right) + Z'_{j5} \right] \right) \dots \dots \dots [\text{Ecuación 6}]$$

b) Determinación del voltaje y la corriente al comienzo de cada sección.

Usando la información del alimentador (voltaje y corriente) y considerando que cada nodo está aguas abajo del nodo al comienzo del alimentador, el voltaje del nodo aguas abajo (voltaje y corriente) y su corriente de entrada del nodo anterior (Vkj) se pueden obtener usando:

Ecuación 7 Voltaje y la corriente al comienzo de cada sección

$$V_{kj} = k_0 + k_1 l_{ij} + k_2 l_{ij}^2 + k_3 l_{ij}^3 + k_4 l_{ij}^4 + k_5 l_{ij}^5 \dots \dots \dots [\text{Ecuación 7}]$$

Ecuación 8 Voltaje y la corriente al comienzo de cada sección

$$I_{kij} = k_{I0} + k_{I1} l_{ij} + k_{I2} l_{ij}^2 + k_{I3} l_{ij}^3 + k_{I4} l_{ij}^4 + k_{I5} l_{ij}^5 \dots \dots \dots [\text{Ecuación 8}]$$

en el cual:

l_{ij} : es la longitud de la sección i-j.

Coefficientes k_0 - k_{15} : se describen en su totalidad en la ecuación 9.

La ecuación 9 está formulado para obtener la distancia de falla para fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas a tierra. En cada tipo de falla y número de fases involucradas con la falla, se determina el número de términos existentes en Σ . Cuando ocurre una falla, los coeficientes k_{dm} se determinan usando la corriente y el voltaje al comienzo de cada sección, y la distancia de la falla se obtiene usando el método de impedancia mejorado calculado usando la siguiente ecuación.

Ecuación 9 Método de impedancia para determinar las fallas

$$x^5 [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{5m} I_{Fm}^*)] + x^4 [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{4m} I_{Fm}^*)] + x^3 [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{3m} I_{Fm}^*)] + x^2 [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{2m} I_{Fm}^*)] + x [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{1m} I_{Fm}^*)] + [\sum_{m \in p} \text{Im}(k_{0m} I_{Fm}^*)] = 0. [\text{Ecuación 9}]$$

Además, se ha presentado la ecuación 10 para la falla bifásica entre las fases A y B. Las otras fallas de dos fases tienen ecuaciones similares.

Ecuación 10 Método de impedancia para fallas bifásicas

$$\text{Im}\{(k_{5a} - k_{5b}) \cdot I_{Fa}^*\} x^5 + \text{Im}\{(k_{4a} - k_{4b}) \cdot I_{Fa}^*\} x^4 + \text{Im}\{(k_{3a} - k_{3b}) \cdot I_{Fa}^*\} x^3 + \text{Im}\{(k_{2a} - k_{2b}) \cdot I_{Fa}^*\} x^2 + \text{Im}\{(k_{1a} - k_{1b}) \cdot I_{Fa}^*\} x + \text{Im}\{(k_{0a} - k_{0b}) \cdot I_{Fa}^*\} = 0 \dots \dots \dots [\text{Ecuación 10}]$$

Se han investigado diez métodos diferentes basados en impedancia en términos de uso de la información antes y después del tiempo de falla, modelo de carga, modelo de línea, presencia o ausencia de ramificaciones en el DN, considerando el desequilibrio del sistema, considerando la heterogeneidad del sistema, e información adicional. Además, se han simulado varios métodos y se han presentado sus ventajas y desventajas. Los resultados presentados en esta referencia muestran que la mayor resistencia de falla y la mayor distancia de falla, causan un aumento en el error de estimación.

Actualmente, esta formulación se utiliza como software en el centro de operaciones de distribución CEEE-D. El error máximo de este método en falla trifásica a tierra y resistencia de falla de 100 Ω , considerando el modelo de línea de parámetros distribuidos, es 10,97%. En esta referencia, la fórmula principal para determinar la ubicación y la impedancia de las fallas es la siguiente:

Ecuación 11 *Ubicación y la impedancia de las fallas*

$$\begin{bmatrix} x \\ R_F \end{bmatrix} = \frac{1}{M_{1m}I_{Fm i} - M_{2m}I_{Fm r}} \begin{bmatrix} I_{Fm i} & -I_{Fm r} \\ -M_{2m} & M_{1m} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{Sm r} \\ V_{Sm i} \end{bmatrix} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 11}]$$

Donde i y r son índices que representan la parte imaginaria y real y $m \in \{a, b, c\}$. V_{Sm} , x e I_{Fm} son voltaje aguas arriba, distancia de falla y corriente de falla de una sección defectuosa, respectivamente. M_{1m} y M_{2m} son dos parámetros calculados que se determinan utilizando las siguientes sumas:

Ecuación 12 *Parámetros para determinar distancia y voltaje de fallas*

$$M_{1m} = \sum (Z_{mk r} I_{Sk r} - Z_{mk i} I_{Sk i}) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 12}]$$

Ecuación 13 *Parámetros para determinar distancia y voltaje de fallas*

$$M_{2m} = \sum (Z_{mk r} I_{Sk i} - Z_{mk i} I_{Sk r}) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 13}]$$

En la figura 5 se muestra un diagrama unifilar de falla. El algoritmo de localización de fallas es el siguiente:

1. Registro de la corriente de carga previa a la falla y uso como corriente de carga posterior a la falla
2. De acuerdo con la figura 5, la corriente de falla se puede calcular como:

Ecuación 14 *Corriente de falla*

$$I_{Fm} = I_{Sm} + I_{Rm} = I_{Sm} - I_{Lm} \dots \dots \dots [Ecuación 14]$$

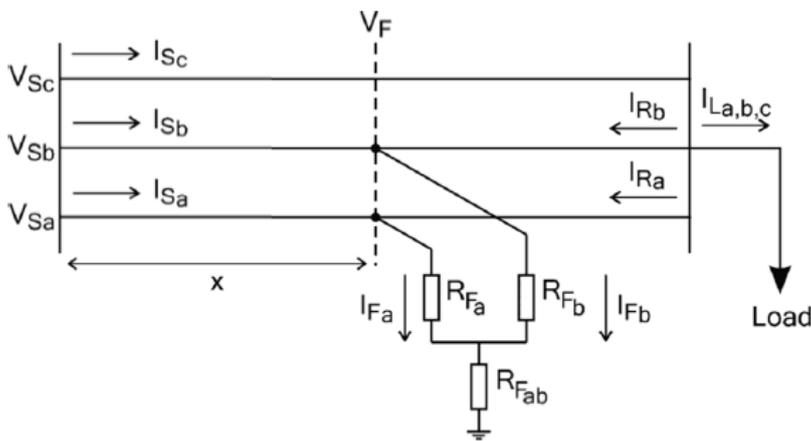


Figura 5. Diagrama único de avería

Fuente: Dashti et al., 2021

2.3 Definición de términos

Alimentador eléctrico: Es un conductor encargado de suministrar la corriente que un grupo de cargas consume (Castaño, 2004).

Corriente eléctrica: Es un movimiento ordenado de cargas libres (electrones), a través de un material conductor en un circuito eléctrico (Juarez, 1995).

Diagrama unifilar: Es una representación gráfica simplificada de flujos y/o relaciones entre elementos de un sistema eléctrico (Espinoza, 2010).

Energía eléctrica: Es una forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo cual establece una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto (García y Iñesta, 2002).

Pérdidas eléctricas: Es la diferencia entre la energía inyectada en el comienzo de la línea y la extraída la al final de la línea (Chalá y García, 2012).

Pérdidas no técnicas: Son pérdidas de energía que se toma de manera ilegal desde el sistema sin ser registrada por el medidor de energía, principalmente por robo, manipulación de equipos o de los sistemas de facturación (Hernández et al., 2015)

Pérdidas técnicas: Estas pérdidas se deben al calor que se produce cuando la electricidad pasa a través de las líneas de transmisión y de los transformadores (Hernández et al., 2015).

Red de Distribución Eléctrica: Es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (Juarez, 1995).

Voltaje: Es la tensión o diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos (Masías, 2007).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación

Esta investigación fue de tipo básica, porque este tipo de investigación tiene como finalidad ampliar los conocimientos en base a la observación del funcionamiento de los fenómenos de la realidad (Espinoza, 2010). Por lo expuesto, el trabajo de investigación no cuenta con una aplicación inmediata y quedó en una propuesta de plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua, empleando distintas investigaciones científicas realizadas sobre el tema.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño metodológico fue descriptivo simple, ya que el trabajo de investigación dio como resultado la propuesta del plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua; tal como lo describe Castro (2014), el diseño descriptivo simple se fundamenta en observaciones contextuales o condicionales con fines descriptivos empleando criterios a los momentos de tiempos en que se realizan o recolectan observaciones.

Según Castro (2014), el diagrama descriptivo simple es el siguiente

$$M \rightarrow O$$

Donde:

M: Pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua.

O: Plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesión ElectroSur S.A. Moquegua

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población de estudio fue la red de distribución de energía eléctrica de la concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua.

3.3.2 Muestra

La muestra fue el alimentador O781 de la concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua

3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos

Se empleó las siguientes técnicas para:

- Determinar las pérdidas de energía eléctrica en el alimentador O781 a través de un balance de energía.
- Elaborar el plan de control y reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 mediante el método MCDM

Balance de energía, en este método práctico tradicional, se calculó el porcentaje de pérdida de energía eléctrica total en el alimentador O781 de la concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua.

Para el balance energético primero se determinó energía distribuida en un intervalo de tiempo registrado.

Luego se consiguió la información acerca de la energía facturada por los clientes pertenecientes al alimentador y la energía consumida por el alumbrado público.

Finalmente, se realizó la diferencia entre la energía distribuida; la energía facturada y la energía consumida por el alumbrado público para calcular las pérdidas totales, cuyo valor representa la suma de las pérdidas técnicas y no técnicas.

La Toma de Decisiones de Múltiples Criterios (MCDM), es un método para identificar y evaluar diferentes criterios en la toma de decisiones de un conflicto (Farshchian et al., 2020).

El proceso de aplicación según Farshchian et al. (2020) es:

Primero. Identificar los criterios, se puede obtener revisando la literatura y los antecedentes de investigación, si hubiera. Por ejemplo, según Chalá y García, (2012). Los criterios que se debe tener en cuenta para poder realizar un plan de control y reducción de pérdidas eléctricas son:

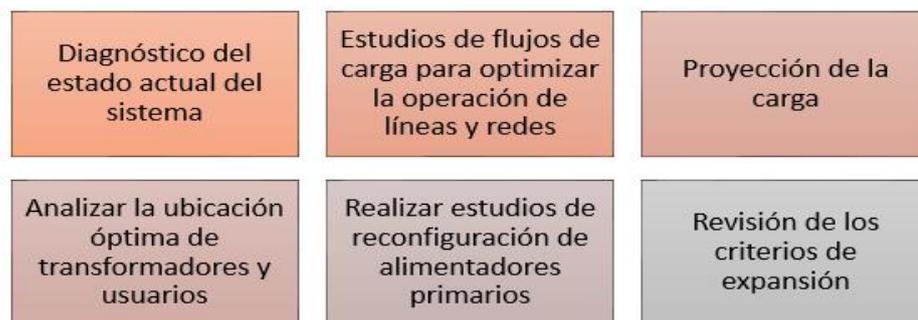


Figura 6. Esquema de criterios MCDM

Fuente: Chalá y García, 2012

Segundo. Después de identificar los criterios finales, se pondera según su valor.

Tabla 2

Ponderación del método MCDM

Sin efecto	Efecto muy bajo	Efecto bajo	Efecto alto	Efecto muy alto
0	1	2	3	4

Fuente: Farshchian et al., 2020

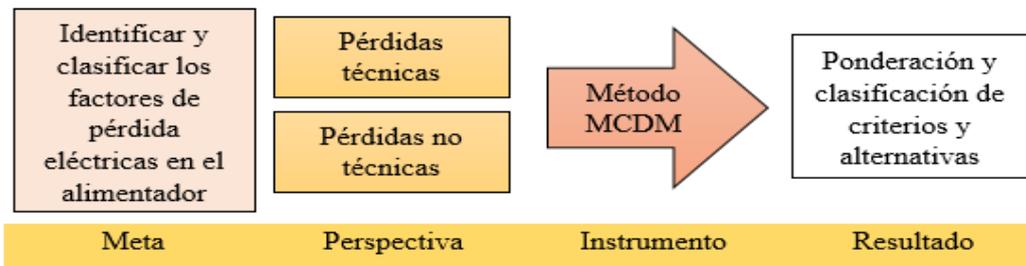


Figura 7. Modelo conceptual de la investigación

Fuente: Farshchian et al., 2020

Tercero. Finalmente se construye la red de alternativas en base a los criterios para la toma de decisiones. Por ejemplo en la investigación realizada por Farshchian et al., (2020), obtuvo el siguiente esquema de alternativas de solución que nos sirvió de guía para el armado de nuestro MCDM en base a nuestra investigación.

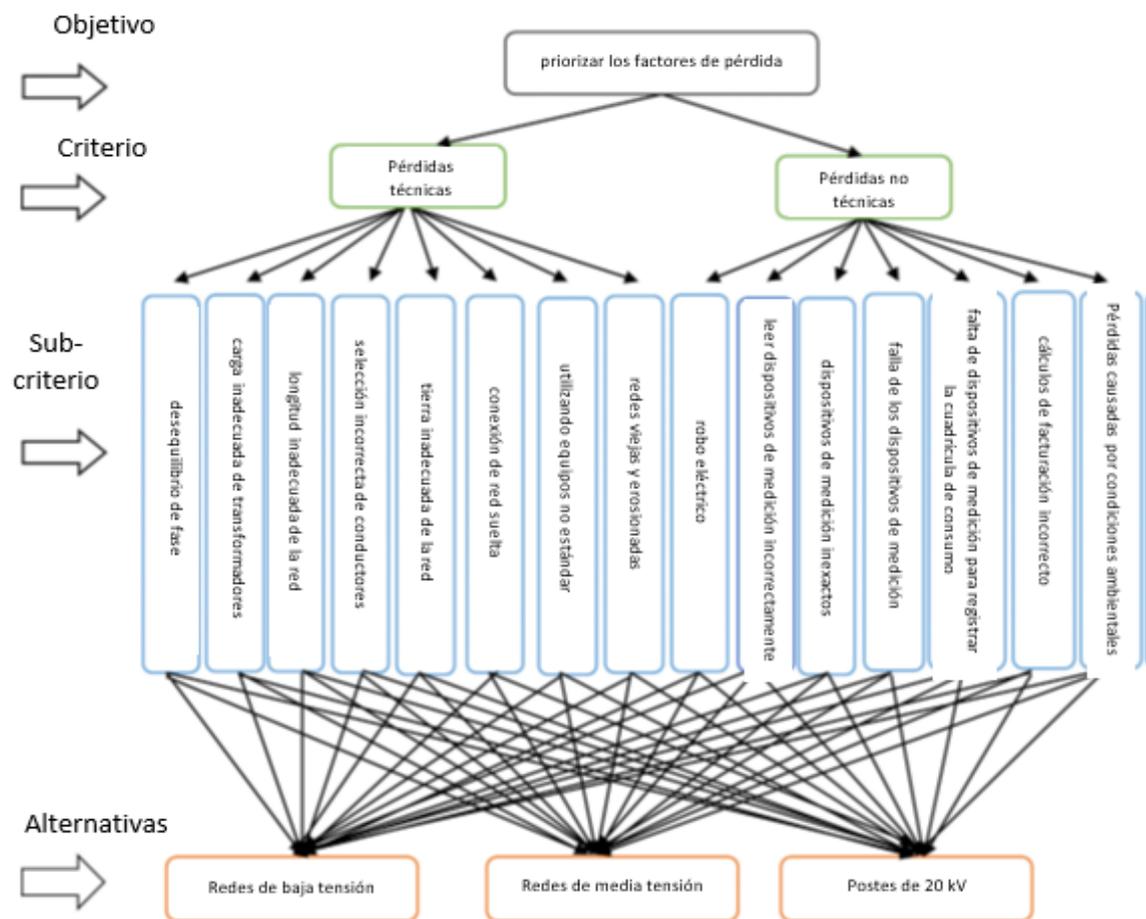


Figura 8. Red de decisiones

Fuente: Farshchian et al., 2020

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Ubicación Geográfica

La empresa Electrosur S.A. abarca las regiones de Moquegua y Tacna, cubriendo una zona de 16, 401.40 km². Cuenta con 12 subestaciones, con una potencia instalada superior a los 10 MVA. El estudio se realizó en el alimentador ubicado en la subestación de transformación de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto.

En la figura 9, se muestra la cobertura de las líneas de media tensión del alimentador en la provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua.

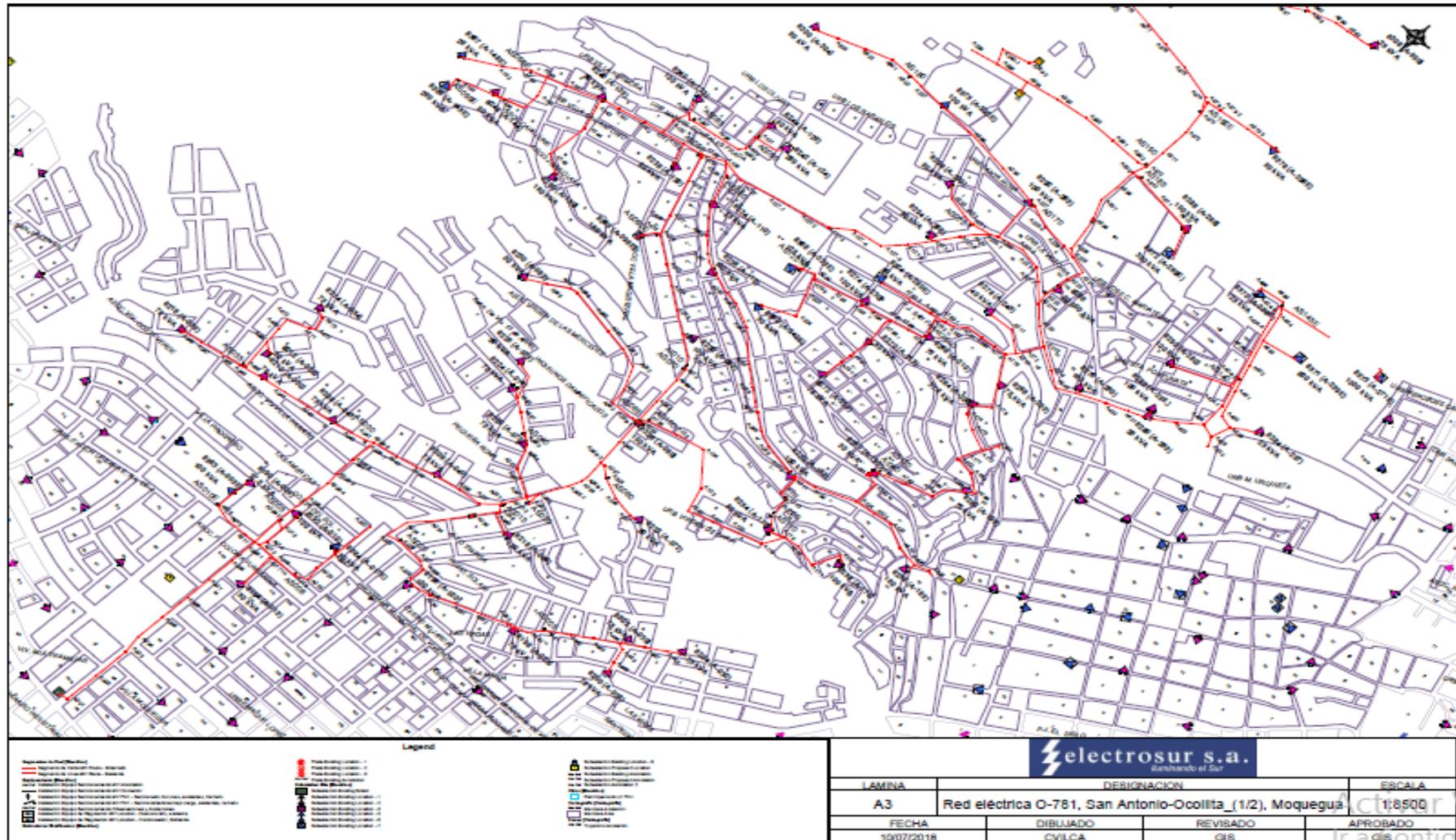


Figura 9. Cobertura del alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A., Moquegua

Fuente: Electrosur, 2016

4.1.2 Selección y descripción del alimentador

El presente trabajo de estudio optó realizar la investigación en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A., perteneciente a la subestación San Antonio, en la provincia Mariscal Nieto, región de Moquegua.

El Alimentador O781 posee las siguientes características:

- Parte de la subestación San Antonio
- Abastece a 7086 clientes
- Posee 91 transformadores trifásicos
- La capacidad instalada en el alimentador es de 4 MW
- La demanda máxima para el año 2021 sucedió en el mes de julio con un valor aproximado de 2,79
- Posee una topología radial
- Posee una tensión de 10 kV
- Las barras son de 10 kV
- Posee 2386 luminarias

4.1.3 Tipo de clientes

Se tiene de conocimiento que el alimentador O781 posee 7086 clientes agregados a su circuito, estos clientes se diferencian por el tipo de tarifa que utilizan de acuerdo al uso de energía, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de clientes por el tipo de tarifa

Tarifa	Cantidad de usuarios
BT2	1
BT3	3
BT4	62
BT5B	6992
BT5H	3
BT6	8
MT2	5
MT3	2
MT4	10
Total, general	7086

Fuente: ElectroSur, 2021

De la tabla 3 se puede observar que de todos los clientes un 98,67% poseen una tarifa BT5B.

4.1.4 Balance energético

El balance de energía se realizó para 13 sub estaciones de distribución (SED), en los meses de febrero, marzo, julio y agosto del 2021; donde se realizó las mediciones al totalizador y al alumbrado público + usuarios, al inicio y final de una semana, donde se comprobó que hay pérdidas de energía presentadas en las siguientes tablas.

Fórmula para el cálculo de pérdida en subestación:

Ecuación 15 *Cálculo de pérdida en subestación*

$$\% = \frac{(A.P. + \sum usuarios) * 100}{Lectura\ real\ del\ tot.} - 100 \dots \dots \dots [Ecuación\ 15]$$

La lectura real del totalizador se halla de siguiente manera:

$$Lectura\ Real\ del\ Totalizador = (lectura) \times (relación\ de\ transformación\ de\ corriente)$$

Donde:

% = pérdida en porcentaje

A.P. = consumo total del alumbrado público (conexión directa kWh)

Σ Usuarios = consumo total de usuarios (kWh)

Lectura real del tot. = lectura real del totalizador (conexión indirecta kWh)

Mes de Febrero - 2021

Tabla 4

Evaluación de pérdidas de la subestación 6274

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1A	Cto. 1B	Cto. 2	Cto. A.P.
6274	R-S	387	R-N	229	R	43,2	15,8	1,9	25,3	2,7
KVA	R-T	385	S-N	223	S	51,6	9,3	2,9	33,2	0,9
100	S-T	388	T-N	232	T	62,3	20,1	0,8	14,3	19
					N	16,2	12,5	1,5	19,5	-
	Relación de transformación		40		TM	-	175A	175A	175A	60A
	Nº Medidor A.P.	2018210435				Nº Medidor totalizador			04174885	
	Lectura 01-02-2021	34073,6				Lectura 01-02-2021			14586,4	
	Lectura 04-02-2021	34254,0				Lectura 04-02-2021			14638,9	
	Consumo A.P.	180,4				Lectura			52,5	
	Total x usuario	1900				Lectura real			2100	
	A.P.+ Usuarios	2080,4				Porcentaje de pérdida			-0,9333	

Nota: Alimentador O781, Referencia Calle José C. Mariátegui con Calle Grau

Aplicando la ecuación 15 se obtiene:

$$\% = \frac{2080,4 * 100}{2100} - 100$$

$$\% = 0,93$$

En la tabla 4 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 2100 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 2080,4 kW, hay una pérdida de 69,9 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 0,93% aproximadamente de la subestación 6274 del alimentador O781.

Los mismos cálculos se emplearon para determinar el % de pérdidas en cada subestación, correspondientes al mes de febrero, marzo, julio y agosto del 2021.

Tabla 5*Evaluación de pérdidas de la subestación 6238*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	Gene ral	Fases	I. Gene ral	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6238	R-S	381	R-N	214	R	79,7	24	29,8	-	5,47
KVA	R-T	377	S-N	213	S	52,9	17,1	27,2	-	-
100	S-T	379	T-N	212	T	64	21,7	31,1	-	15,43
					N	24	19,7	18,1	-	-
Relación de transformación			50		TM	-	150A	150A	-	60A
Nº Medidor A.P.		0607435613				Nº Medidor totalizador			04174873	
Lectura 09-02-2021		56208,8				Lectura 01-02-2021			15047,6	
Lectura 13-02-2021		56382,3				Lectura 04-02-2021			15120,8	
Consumo A.P.		173,5				Lectura			73,2	
Total x usuario		3447				Lectura real			3660	
A.P. + Usuarios		3620,5				Porcentaje de pérdida			-1,0792	

Nota: Alimentador O781, Referencia Villa Magisterial E-32

En la tabla 5 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 3660 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 3620,5 kW, hay una pérdida de 39,5 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 1,08% aproximadamente de la subestación 6238 del alimentador O781.

Tabla 6*Evaluación de pérdidas de la subestación 6290*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	Gene ral	Fases	I. Gene ral	Cto. 1	Cto. 2A	Cto. 2B	Cto. A.P.
6290	R-S	404	R-N	223	R	70,7	45,8	19,3	9,07	5,47
KVA	R-T	404	S-N	222	S	66,8	24,3	33,5	4,83	-
75	S-T	404	T-N	220	T	54,1	23,1	12,6	9,64	15,43
					N	39,9	20,5	11,69	7,70	-
Relación de transformación			30		TM	-	175A	175A	175A	60A
Nº Medidor A.P.		0607435144				Nº Medidor totalizador			04174735	
Lectura 09-02-2021		79746,9				Lectura 01-02-2021			27141,1	
Lectura 13-02-2021		79894,0				Lectura 04-02-2021			27267,4	
Consumo A.P.		147,1				Lectura			126,3	
Total x usuario		3482				Lectura real			3789	
A.P. + Usuarios		3629,1				Porcentaje de pérdida			-4,220	

Nota: Alimentador O781, Referencia Urb. Santa Fortunata (Parque)

Se encontró una conexión instalada en el C-A poste 31, el cual no estaba registrado en el sistema comercial, pero al contrario con medidor r, fue tomado en cuenta para la evaluación y posteriormente se procedió a la intervención y corte de la conexión.

En la tabla 6 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 3789 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 3629,1 kW, hay una pérdida de 159,9 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 4,22% aproximadamente de la subestación 6290 del alimentador O781.

Tabla 7

Evaluación de pérdidas de la subestación 6218

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6218	R-S	387	R-N	215	R	27,3	13,6	10,4	4,80	7,72
KVA	R-T	388	S-N	214	S	33,1	4,28	19,3	4,33	10,01
75	S-T	385	T-N	213	T	27,2	4,52	10,7	5,67	10,88
					N	18,8	16,0	12,08	12,0	-
	Relación de transformación		40		TM	-	100A	100A	100A	50A
	Nº Medidor A.P.	2018210943			Nº Medidor totalizador			01019136		
	Lectura 15-02-2021	39854,8			Lectura 01-02-2021			25380,4		
	Lectura 20-02-2021	40185,3			Lectura 04-02-2021			25438,9		
	Consumo A.P.	330,5			Lectura			58,5		
	Total x usuario	1856			Lectura real			2340		
	A.P. + Usuarios	2186,5			Porcentaje de pérdida			-6,5598		

Nota: Alimentador O781, Referencia Alto Tiwinza E-12

Se encontró el uso de energía sin autorización del suministro anulado 210031313.

En la tabla 7 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 2340 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 2186,5 kW, hay una pérdida de 153,5 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 6,56% aproximadamente de la subestación 6218 del alimentador O781.

Tabla 8*Evaluación de pérdidas de la subestación 6236.*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6236	R-S	390	R-N	219	R	38,4	5,80	18,8	5,91	6,67
KVA	R-T	390	S-N	217	S	81,3	6,67	41,7	8,83	5,62
50	S-T	390	T-N	219	T	24,7	2,05	13	9,37	4,07
					N	29,3	5,43	23,8	7,0	-
Relación de transformación			50		TM	-	150A	100A	150A	60A
Nº Medidor A.P.			2018210442							Nº Medidor totalizador 04174737
Lectura 15-02-2021			22727,5							Lectura 01-02-2021 8618,8
Lectura 20-02-2021			22939,0							Lectura 04-02-2021 8666,9
Consumo A.P.			211,5							Lectura 48,15
Total x usuario			2136							Lectura real 2405
A.P. + Usuarios			2347,5							Porcentaje de pérdida -2,3909

Nota: Alimentador O781, Referencia 28 de Julio E-13

En la tabla 8 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 2405 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público marca 2347,5 kW, hay una pérdida de 57,5 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 2,39% aproximadamente de la subestación 6236 del alimentador O781

*Mes de marzo 2021***Tabla 9***Evaluación de pérdidas de la subestación 6258*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2A	Cto. 3	Cto. A.P.
6258	R-S	387	R-N	220	R	30,4	16,9	6,1		7,97
KVA	R-T	390	S-N	217	S	31,3	18,7	18,1		
75	S-T	390	T-N	220	T	49	21,7	12,1		8,99
					N	25,3	14,4	11,8		
Relación de transformación			60		TM		175A	175A		50A
Nº Medidor A.P.			2018210489							Nº Medidor totalizador 04174731
Lectura 01-03-2021			2125,8							Lectura 01-02-2021 7637,7
Lectura 06-03-2021			21444,5							Lectura 04-02-2021 7678,8
Consumo A.P.			186,4							Lectura 41,1
Total x usuario			2098							Lectura real 2466
A.P. + Usuarios			2284,4							Porcentaje de pérdida -7,36

Nota: Alimentador O781, Referencia 1ro de Mayo O-13

En la tabla 9 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 2466 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 2284,4 kW, hay una pérdida de 181,6 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 7,36% aproximadamente de la subestación 6258 del alimentador O781.

Tabla 10

Evaluación de pérdidas de la subestación 6256

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto 1	Cto 2A	Cto. 3	Cto A.P.
6256	R-S	393	R-N	222	R	53,1	44,3	11,5	-	10,78
KVA	R-T	383	S-N	219	S	63	38,7	9,1	-	
75	S-T	399	T-N	223	T	48,3	34,6	5,5	-	13,08
					N	26,1	25,0	7,8	-	-
Relación de transformación			50		TM	-	160A	160A	-	160A
Nº Medidor A.P.			0607435752							Nº Medidor totalizador 04174886
Lectura 01-03-2021			73706,8							Lectura 01-02-2021 14843,8
Lectura 06-03-2021			73960,6							Lectura 04-02-2021 14924,0
Consumo A.P.			251,8							Lectura 80,2
Total x usuario			3582							Lectura real 4010
A.P. + Usuarios			3833,8							Porcentaje de pérdida -4,3940

Nota: Alimentador O781, Referencia Comité 28 – H6 - 1

En la tabla 10 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 4010 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 3833,8 kW, hay una pérdida de 176,7 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 4,40% aproximadamente de la subestación 6256 del alimentador O781

Tabla 11*Evaluación de pérdidas de la subestación 6278*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2A	Cto. 2B	Cto. A.P.
6278	R-S	380	R-N	212	R	66,4	18,7	0,718	30,0	8,57
KVA	R-T	377	S-N	213	S	82,2	18,3	0,974	27,2	9,81
160	S-T	377	T-N	211	T	78,2	23,7	1,615	28,4	5,67
					N	40,1	11,0	2,39	12,6	-
Relación de transformación			20		TM	-	200A	200A	200A	60A
N° Medidor A.P.			2017132084							04174743
Lectura 09-03-2021			88175,4							569393,3
Lectura 12-03-2021			88356,1							57122,6
Consumo A.P.			180,7							183,3
Total x usuario			3481							3666
A.P. + Usuarios			3661,7							-0,1173

Nota: Alimentador O781, Referencia Av. Ejército / Calle A. A. Cáceres

En la tabla 11 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 3666 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 3661,7 kW, hay una pérdida de 4,3 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 0,12% aproximadamente de la subestación 6278 del alimentador O781.

Tabla 12*Evaluación de pérdidas de la subestación 6192*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. AP
6192	R-S	382	R-N	214	R	10,5	1,28	5,5	4,8	4,2
KVA	R-T	380	S-N	214	S	32,3	5,39	4,4	3,0	4,8
160	S-T	377	T-N	211	T	44,1	19,1	9,5	12,6	3,3
					N	23,5	16,3	11,4	9,8	-
Relación de transformación			40		TM	-	80A	80A	100A	50A
N° Medidor A.P.			2017132662							01117249
Lectura 09-03-2021			38159,0							23718,1
Lectura 12-03-2021			38269,2							23743,1
Consumo A.P.			110,2							25
Total x usuario			82,0							1000
A.P. + Usuarios			930,2							-6,9800

Nota: Alimentador O781, Referencia Colegio Belaunde Terry

En la tabla 12 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 1000 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 930,2 kW, hay una pérdida de 69,8 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 6,98% aproximadamente de la subestación 6192 del alimentador O781.

Tabla 13

Evaluación de pérdidas de la subestación 6320

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. AP
6320	R-S	380	R-N	214	R	1,33	1,28	0,9	-	-
KVA	R-T	383	S-N	217	S	1,28	1,54	0,0	-	-
15	S-T	383	T-N	216	T	6,40	2,51	1,8	-	-
					N	4,53	1,90	0,41	-	-
Relación de transformación			MD		TM	-	50A	15A	-	15A
N° Medidor AP			0607839037				N° Medidor totalizador			13069327
Lectura 15-03-2021			10077,2				Lectura 01-02-2021			76764,5
Lectura 19-03-2021			10116,3				Lectura 04-02-2021			77016,1
Consumo A.P.			39,1				Lectura			251,6
Total x usuario			211				Lectura real			251,6
A.P. + Usuarios			250,1				Porcentaje de pérdida			-0,5962

Nota: Alimentador O781, Referencia Loma Quemada

En la tabla 13 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 251,6 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 250,1 kW, hay una pérdida de 1,5 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 0,60% aproximadamente de la subestación 6320 del alimentador O781.

Tabla 14*Evaluación de pérdidas de la subestación 6296*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6296	R-S	386	R-N	210	R	7,89	0,07	1,084	1,61	2,95
KVA	R-T	384	S-N	209	S	15,31	0,04	0,211	4,33	1,57
50	S-T	387	T-N	210	T	12,86	0,91	2,35	0,08	1,91
					N	11,4	1,21	2,55	0,47	-
Relación de transformación			MD		TM	-	50A	50A	50A	50A
N° Medidor A.P.			16197391							
Lectura 15-03-2021			34125,5							
Lectura 19-03-2021			34195,1							
Consumo A.P.			69,6							864
Total x usuario			72,9							864
A.P. + Usuarios			798,6							-7,5694

Nota: Alimentador O781, Referencia Urb. Los Naranjos J - 9

En la tabla 14 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 864 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 798,6 kW, hay una pérdida de 65,4 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 7,57% aproximadamente de la subestación 6296 del alimentador O781.

*Mes de Julio – 2021***Tabla 15***Evaluación de pérdidas de la subestación 6167*

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6167	R-S	400	R-N	223	R	65,5	27,0	31,4	10,0	1,1
KVA	R-T	404	S-N	226	S	68,0	33,1	31,8	3,6	2,9
160	S-T	400	T-N	227	T	62,0	21,8	25,1	4,0	5,6
					N	13,5	18,9	13,8	5,1	-
Relación de transformación			60		TM	-	160A	150A	150A	50A
N° Medidor A.P.			2018210446							
Lectura 26-07-2021			22783,4							
Lectura 31-07-2021			22939,0							
Consumo A.P.			155,6							86,21
Total x usuario			4809							5172,6
A.P. + Usuarios			4964,6							-4,0212

Nota: Alimentador O781, Referencia Calle Omate

En la tabla 15 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 5172,6 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 4964,6 kW, hay una pérdida de 208 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 4,02% aproximadamente de la subestación 6167 del alimentador O781.

Mes de Agosto - 2021

Tabla 16

Evaluación de pérdidas de la subestación 6170

SED	Medición de tensión (V) B.T.				Medición de cargas (AMP.)					
	Fases	Tensión	Fases	General	Fases	I. General	Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Cto. A.P.
6170	R-S	218	R-N	-	R	27,7	20,7	7,40	0,01	-
KVA	R-T	210	S-N	-	S	24,4	20,8	5,73	0,02	-
50	S-T	218	T-N	-	T	29,6	19,0	0,671	0,06	-
					N	-	-	-	-	-
Relación de transformación			20		TM	-	350A	63A	80A	-
N° Medidor AP			S/M				N° Medidor totalizador		0901429	
Lectura 05-08-2021			-				Lectura 01-02-2021		52730	
Lectura 09-08-2021			-				Lectura 04-02-2021		52831	
Consumo A.P			0,0				Lectura		101.00	
Total x usuario			1763				Lectura real		2020	
A.P + Usuarios			1763,0				Porcentaje de pérdida		-12,7228	

Nota: Alimentador O781 referencia Av. Balta con Libertad

En la tabla 16 se muestra la lectura real del medidor totalizador con un valor de 2020 kW y la otra lectura del medidor de alumbrado público + usuarios marca 1763 kW, hay una pérdida de 257 kW, lo que demuestra una pérdida de energía de 12,72% aproximadamente de la subestación 6170 del alimentador O781.

De las 13 subestaciones evaluadas se acumula un porcentaje de pérdida de 58,95% entre pérdidas técnicas y no técnicas. Motivo por el cual se procedió a realizar un Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador 0781.

4.1.5. Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua mediante la Toma de Decisiones de Múltiples Criterios (MCDM)

Habiendo calculado las pérdidas que se generan en el alimentador O781 y con el propósito de poder controlar y reducir estas pérdidas a futuro se elaboró un Plan de Control y Reducción de Pérdidas para la mejora de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua.

4.1.5.1 Situaciones que generan pérdidas eléctricas en el alimentador O781

Las situaciones que se detallan a continuación suceden muy a menudo contribuyendo a las pérdidas de energía eléctrica:

- Existencia de errores en el proceso de facturación.
- Vulnerabilidad de las conexiones eléctricas.
- Gran expansión urbana.
- Se evidencia una gran pérdida eléctrica de 58,95% en 13 subestaciones del alimentador O781.

Según la OSINERGMIN, los factores de expansión de pérdidas se detallan en la siguiente tabla 17:

Tabla 17

Porcentajes y factores de expansión de pérdidas por sector

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector SER	Sector Especial
<i>Media Tensión</i>								
Energía	1,29%	1,28%	1,71%	2,06%	3,66%	2,69%	1,99%	2,31%
Potencia	1,63%	1,66%	2,69%	3,18%	5,67%	5,07%	0,82%	3,12%
<i>Baja Tensión</i>								
Energía	7,87%	8,05%	8,17%	7,08%	6,58%	6,43%	6,22%	7,73%
Técnicas	5,02%	5,20%	5,32%	4,23%	3,73%	3,58%	3,37%	4,88%
SEDs	2,03%	2,69%	2,60%	2,09%	2,64%	2,60%	2,86%	4,40%
MT/BT								
Redes BT-SP	2,22%	1,79%	2,03%	1,96%	0,93%	0,83%	0,34%	0,19%
Acometidas	0,07%	0,06%	0,16%	0,05%	0,03%	0,03%	0,02%	0,01%
Medidores	0,70%	0,66%	0,53%	0,13%	0,13%	0,12%	0,15%	0,28%
No técnicas	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%

Tabla 17*Porcentajes y factores de expansión de pérdidas por sector (continuación)*

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector SER	Sector Especial
Potencia	9,76%	8,85%	9,63%	8,51%	7,09%	7,19%	6,61%	6,89%
Técnicas	6,91%	6,00%	6,78%	5,66%	4,24%	4,34%	3,76%	4,04%
SEDs	2,71%	2,99%	2,62%	1,99%	1,91%	2,10%	2,62%	3,37%
MT/BT								
Redes BT-SP	3,50%	2,42%	3,56%	3,35%	1,99%	1,89%	0,77%	0,26%
Acometidas	0,07%	0,09%	0,29%	0,09%	0,07%	0,07%	0,04%	0,02%
Medidores	0,63%	0,50%	0,31%	0,23%	0,27%	0,28%	0,33%	0,39%
No técnicas	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%	2,85%

Fuente: OSINERGMIN, 2013

Las pérdidas no técnicas estándar que estable OSINERGMIN es de 2,85% para el año 2013 y para el 2017 según la tabla 21, se precisa reducir gradualmente estas pérdidas hasta un 2,56% como un incentivo a las empresas distribuidoras de energía a reducir sus pérdidas no técnicas.

4.1.5.2 Estructura del Plan de Control y Reducción de Pérdidas

La estructura del plan se basa en una secuencia lógica, comenzando con un diagnóstico actual, para poder determinar cuáles son las matrices del problema y establecer soluciones a base de criterios que deberán ser adoptados por todo el personal de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua.

Basándonos en el balance de energía realizado, demostrando que hay pérdidas eléctricas, realizamos la estructura del plan de control y reducción orientado a las pérdidas no técnicas, ya que las pérdidas técnicas se dan debido al calor que se produce por el paso de tensión entre líneas de transmisión (no se puede controlar) y las no técnicas son las pérdidas que se da por hurto, sistemas de facturación, entre manipulación en los otros (se puede controlar y reducir). Ver figura 10.

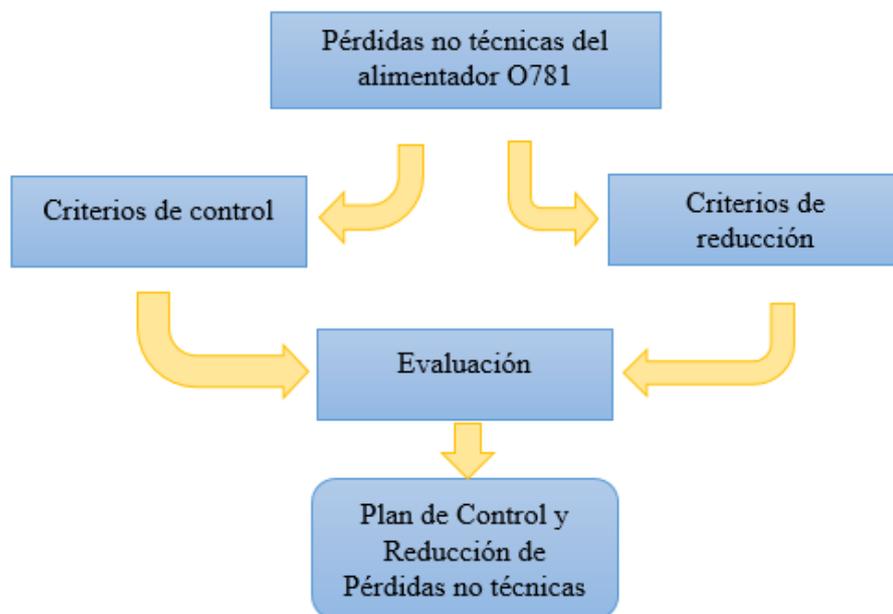


Figura 10. Componentes del Plan de Control y Reducción de Pérdidas No Técnicas del Alimentador O781

Los criterios que se tomó en cuenta para el Plan de Control y Reducción de Pérdidas No Técnicas del Alimentador O781 siguieron los lineamientos de la metodología Toma de Decisiones de Múltiples Criterios (MCDM). Esta herramienta analítica nos permitió identificar el problema: pérdidas no técnicas de energía eléctrica, plantear el objetivo: elaborar el plan de control y reducción de pérdidas no técnicas, y elegir los criterios de evaluación para direccionar el plan de control y reducción de pérdidas no técnicas basado en la revisión bibliográfica de artículos científicos, razón por la que se seleccionó 4 criterios de evaluación (ver Tabla 18) para obtener como resultado el plan de control y reducción. La metodología MCDM implicó disgregar cada criterio en acciones puntuales que ayudaron a estructurar las decisiones que facilitaron el análisis, los juicios y las decisiones del investigador como se muestra en las figuras 9, 10, 11 y 12.

Tabla 18

Criterios de evaluación para el control y reducción de las pérdidas no técnicas

Plan	Criterios de Evaluación
Control y Reducción de pérdidas no técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - Control de información - Control de conexiones - Control de consumo - Control de mediciones

4.1.5.3 Estrategias y Objetivos de elaborar un Plan de Control y Reducción de Pérdidas

Las estrategias que se va adoptar para lograr un control y reducción de pérdidas no técnicas a futuro, son las siguientes:

- Mejorar la gestión administrativa (correcta facturación a los usuarios, registro adecuado de medidores y control de balances de energía).
- Controlar el fraude y recuperación de energía.
- Controlar las conexiones clandestinas y gestionar un adecuado mantenimiento a las conexiones eléctricas.
- Mejorar la precisión de medida
- Los objetivos que se pretende alcanzar a través del Plan de Control y Reducción de Pérdidas, son:
 - Reducir las pérdidas totales de energía eléctrica.
 - Mejorar la calidad del producto y del servicio.
 - Mejorar la relación entre los clientes y la empresa a través de un óptimo servicio.

4.1.5.4 Criterios para un plan de control de pérdidas no técnicas

a) Control de Información

Este criterio se orienta al control administrativo, balances de energía, facturación de los clientes y un adecuado uso de medidores. La figura 11 nos muestra una red de alternativas que se deberán evaluar para controlar la información como parte del Plan de Control y Reducción.

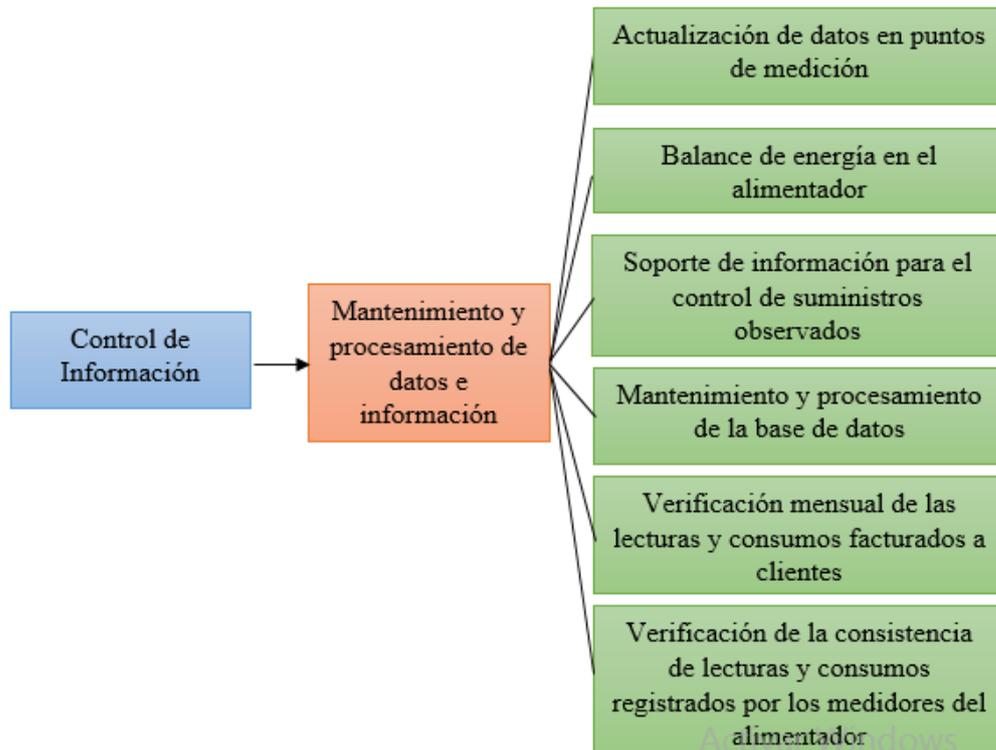


Figura 11. Criterios de control de información

b) *Control de conexiones*

Los criterios de control de conexiones se basarán en la gestión de mantenimiento de conexiones eléctricas y el control de clandestinos. La figura 12 nos muestra una red de alternativas que se deberán evaluar para controlar las conexiones como parte del Plan de Control y Reducción.

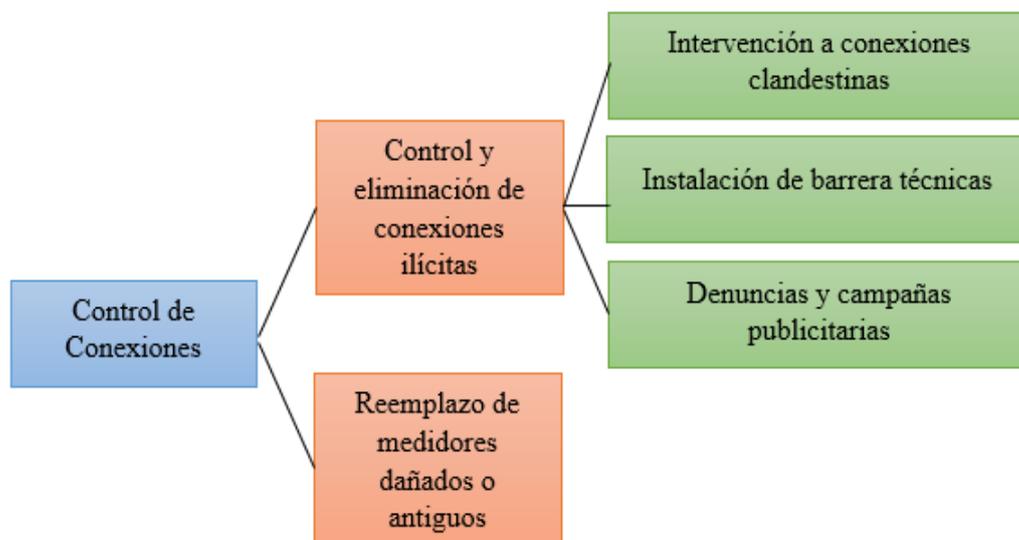


Figura 12. Criterios de control de conexiones

c) *Control de Consumo*

Los criterios de control de consumo están orientados al fraude y recuperación de energía. La figura 13 nos muestra una red de alternativas que se deberán evaluar para controlar el consumo como parte del Plan de Control y Reducción.

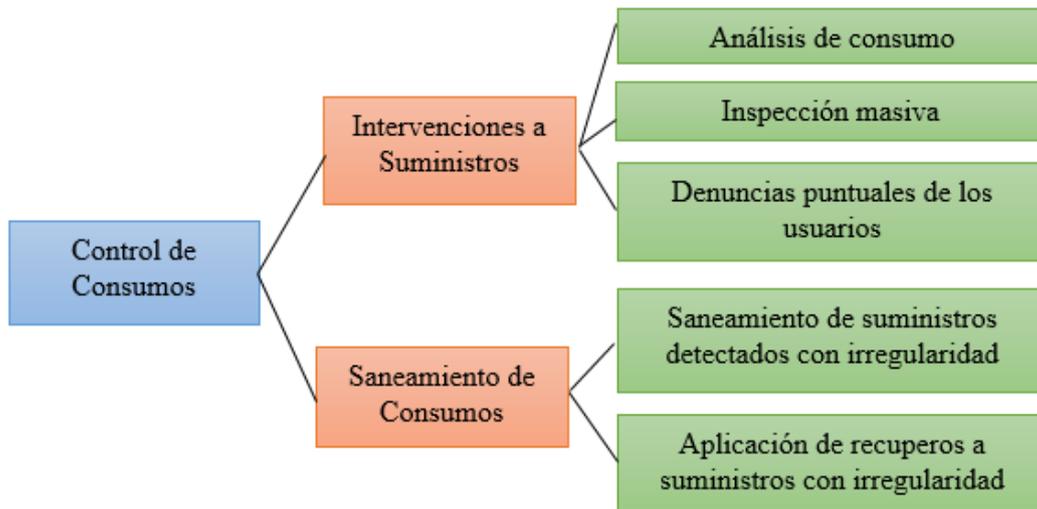


Figura 13. Criterios de Control de Consumos

d) *Control de Medición*

Los criterios del control de medición se basan en la precisión de la medición. La figura 14 nos muestra una red de alternativas que se deberán evaluar para controlar la medición como parte del Plan de Control y Reducción.



Figura 14. Criterios de Control de Medición

4.1.5.5 Acciones para un plan de reducción de pérdidas no técnicas

Las acciones que se consideraron para reducir las pérdidas no técnicas en el alimentador O781 son:

a) A corto plazo

- Realizar auditorías a los procesos de facturación para lograr una reducción de pérdidas administrativas.
- Verificar la facturación de los consumos por ciclos.
- Realizar una correcta y fiable facturación a los usuarios.
- Contar con registros oportunos y adecuados de medidores en el sistema comercial.
- Inspeccionar los suministros observados (observaciones de toma de lectura, caídas considerables, consumos nulos, etc.)

b) A mediano plazo

- Identificar e intervenir conexiones fraudulentas y clandestinas a clientes y ex clientes para el recupero de energía.
- Identificar e intervenir conexiones ilegales en zonas de hurto masivo.
- Sanear las instalaciones eléctricas de los suministros fraudulentos.
- Realizar operativos de anticlandestinaje.
- Ejecutar acciones legales para penalizar el fraude o hurto de energía.
- Remodelación de algunas redes de tensión baja

c) A largo plazo

- Implementación de sistemas de medición inteligente.
- Proyectos de ampliación de redes a fin de satisfacer nuevas demandas de energía.
- Atender con suministros provisionales a los sectores que no cuenten con saneamiento.

4.1.5.6 Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua

Después de haber identificado las situaciones que generan pérdidas, los criterios, las estrategias, las acciones, el objetivo del Plan, se elabora el siguiente Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua. Ver figura 15.

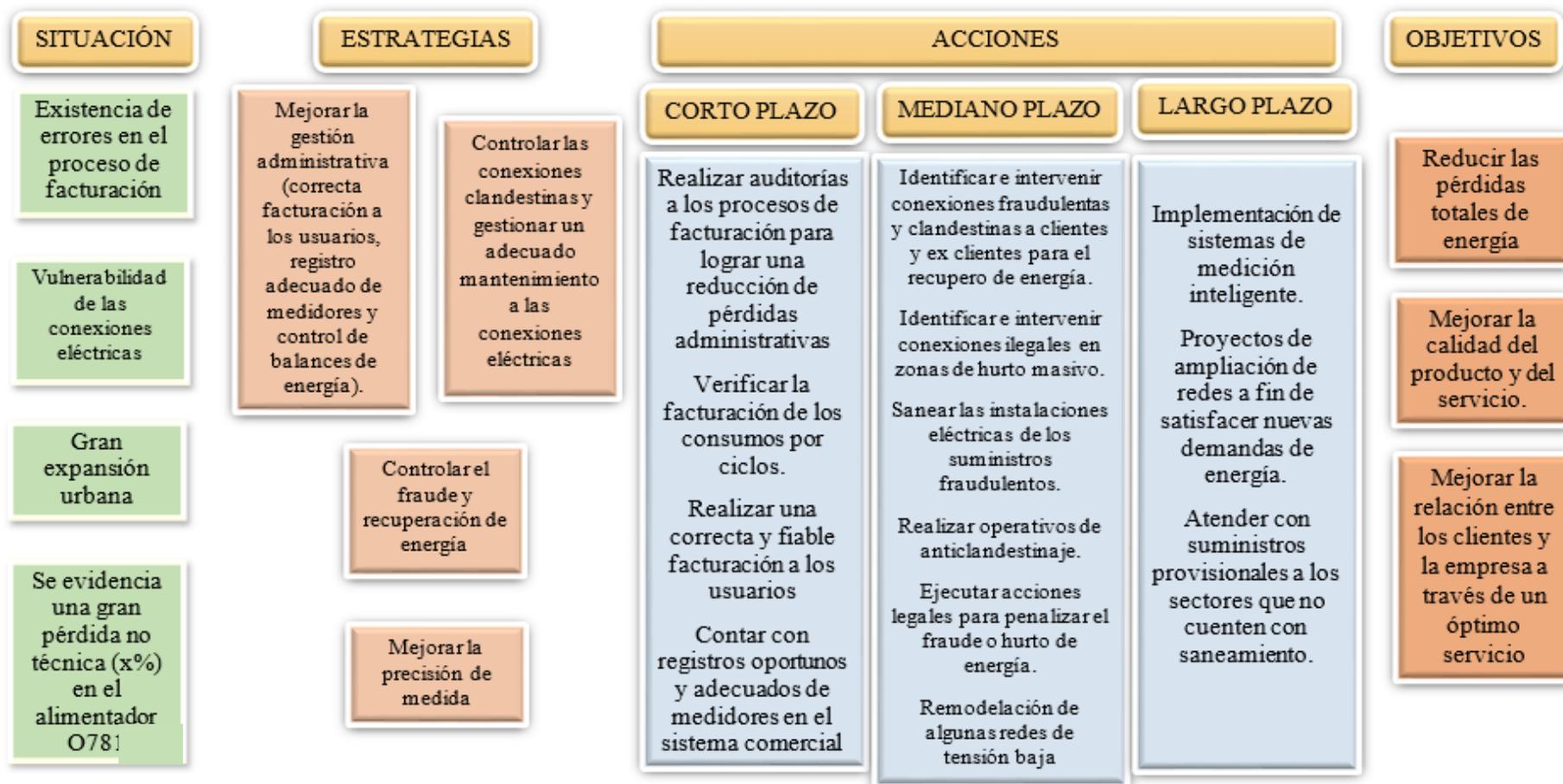


Figura 15. Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria ElectroSur S.A. Moquegua

4.2 Contratación de Hipótesis

4.2.1 Contratación de la Hipótesis General

Fue posible elaborar un Plan de Control y Reducción de pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua, siguiendo los lineamientos que expone el método de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM): identificación de criterios, análisis de los criterios y propuestas de una red de alternativas, ya que durante las mediciones se demostró que se presentan pérdidas significativas en diferentes subestaciones del alimentador O781; también el plan elaborado cumple con las métricas establecidas en el instrumento (Apéndice 1-B). Por lo que aceptamos lo afirmado en la hipótesis general.

4.2.2 Contratación de las Hipótesis Específicas

Fue posible determinar los factores que generan mayor de energía eléctrica en el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua, mediante el balance energético de 13 subestaciones, hallando registros inadecuados de los medidores, conexiones clandestinas, fraude y hurto de energía eléctrica en algunas subestaciones donde se calculó altos porcentajes de pérdidas de energía eléctrica, estos factores encontrados están relacionados a las pérdidas no técnicas. Por lo que aceptamos lo afirmado en la primera hipótesis específica, los factores que generan mayor pérdida de energía eléctrica están relacionadas con las pérdidas no técnicas.

Las pérdidas totales de energía hallada para 13 subestaciones de distribución pertenecientes al alimentador O781 fueron de 58,95% mediante el balance energético, por lo que aceptamos nuestra segunda hipótesis específica que afirma que, mediante el balance energético, es posible determinar las pérdidas eléctricas en el alimentador O781 de la concesionaria Electrosur S.A. Moquegua.

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Plan de Control y Reducción de Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 de la Concesionaria Electrosur S.A. Moquegua

Para la elaboración del plan se tomó en cuenta su estructura, diagnóstico actual, identificación de problemas (causas), estrategias y objetivos que se desea lograr (Apaza, 2017; Castro y Florián, 2016). Es común encontrar problemas inherentes en toda empresa, el objetivo es poder identificarlos y dar una solución con el compromiso de todos los trabajadores de la concesionaria Electrosur y una orientación adecuada a los usuarios que forman parte de la red de distribución. De la información analizada (Dashti et al., 2021; Farshchian et al., 2020; Savian et al., 2021), se decidió por 4 criterios para la elaboración del plan: información, conexiones, consumo y medición que engloban todo el aspecto de pérdidas no técnicas que se pueden generar en la concesionaria Electrosur, su respectivo control y reducción proponiendo alternativas de solución a corto, mediano y largo plazo.

El Plan fue desarrollado en base a las pérdidas no técnicas, por lo estudiado por Savian et al. (2021) quien afirma que, las pérdidas no técnicas tienen diferentes consecuencias para los países, las empresas de distribución y la sociedad. Necesitan ser interpretados de manera interconectada ya que todos se ven afectados directa o indirectamente por este problema, generando un ciclo de pérdidas.

La relación entre barreras y estrategias para mitigar pérdidas no técnicas es muy cercana. Debe indicar la dirección de los esfuerzos y acciones de los investigadores, empresarios y agentes reguladores del área. Si los sectores público y privado desarrollan operaciones conjuntas con base en las barreras identificadas en este artículo, pueden obtener una mayor tasa de reducción de pérdidas no técnicas, considerando que pueden

contemplar en su acción, serán reconocidas como costos permitidos, lo que reduce el costo de la empresa y nivel de ingresos (Corton et al., 2016; Leite et al., 2020).

4.3.2 Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía que se calcularon en 13 subestaciones tienen inmersas las pérdidas técnicas y no técnicas. Según el estudio de Castro y Florián, (2016) y Apaza (2017) lograron calcular las pérdidas de energía mediante un balance de energía, obteniendo como resultado una pérdidas eléctricas totales de 16,30% y 12,94% respectivamente, valores que superan los límites propuestos OSINERGMIN. Mediante un balance más riguroso Castro y Florián (2016) lograron calcular las pérdidas técnicas y las pérdidas no técnicas obteniendo un resultado de 6,27% y 10,03% respectivamente, se puede apreciar que la mayor pérdida de energía eléctrica se da por pérdidas no técnicas.

Según De Oliveira et al. (2020), la alta tasa de pérdidas no técnicas genera pérdidas significativas para los países. A pesar de los esfuerzos de las empresas distribuidoras y del estado para reducir este tipo de pérdidas, observamos la prevalencia y evolución de la tasa de pérdidas no técnicas sin una mejora en el índice de calidad del suministro eléctrico reportado por el Banco Mundial, a lo largo de los años incluso con el desarrollo de las acciones implementadas para su control. Perú muestra un incremento de las pérdidas no técnicas desde 2005 hasta 2009, alcanzando un pico en 2011. Posteriormente, hubo una oscilación de este valor hasta 2018.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Primera.** Se logró desarrollar el Plan De Control y Reducción De Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 del servicio eléctrico de Moquegua correspondiente al año 2021, con ayuda del método de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM); identificando 4 criterios principales que fueron analizados (Control de información, control de conexiones, control de consumo y control de medición), para posteriormente extraer alternativas de solución a corto, mediano y largo plazo.
- Segunda.** Los factores relacionados a las pérdidas no técnicas de energía eléctrica halladas en las 13 subestaciones del alimentador O781 durante las mediciones para el balance de energía fueron hurto o robo de energía, conexiones clandestinas, error en el proceso de facturación y medición entre otros.
- Tercera.** Se logró calcular el indicador de pérdidas eléctricas a través de un balance energético en 13 subestaciones del alimentador O781, dando como resultado

un 58,95% de pérdidas eléctricas totales; las pérdidas inmersas en este porcentaje son las pérdidas técnicas y las pérdidas no técnicas.

5.2 Recomendaciones

- Primera.** Elaborar un programa de ejecución basado en el Plan De Control y Reducción De Pérdidas Eléctricas en el Alimentador O781 elaborado.
- Segunda.** Determinar las pérdidas técnicas y no técnicas en el Alimentador O781 para un mejor estudio.
- Tercera.** Realizar un balance energético más minuciosos periódicamente para disminuir el índice de pérdidas eléctricas.
- Cuarta.** Se recomienda realizar inspecciones a las conexiones eléctricas, programar operativos anticlandestinaje para reducir las pérdidas no técnicas.
- Quinta.** Reemplazar paulatinamente los medidores dañados, para asegurar una correcta medición de consumo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, M. (2017). *Estudio De Control Y Disminución De Pérdidas Dentro Del Servicio Eléctrico Puno Alimentador 101 - Concesión Eléctrica De Electropuno S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7044>
- Bretas, A., Rossoni, A., Trevizan, R., y Bretas, N. G. (2020). *Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework*. *Electric Power Systems Research*, 186(January), 106397. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106397>
- Castaño, G. (2004). *Distribución de energía eléctrica*. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Recuperado de <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sisspot/Libros%202007/libros/dee/dee-0/cap1-4.pdf>
- Castro, M. (2014). *Diseños de Investigación en Ciencias Sociales*. Quito: Intiyan. Recuperado de <http://info.bnp.gob.pe/cgi-bin/abnetclwo/o8935/id9b754f68/nt1?acc=165ydoc=1>
- Castro, M. y Florián, E. (2016). *Programa de reducción y control de pérdidas no técnicas en el alimentador chs032 – 7ma. sur, de la Empresa Hidrandina S.A. – Chimbote*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2656>
- Celin, J. y Rodríguez, M. (2011). *Diagnóstico y propuesta de mejoras para el control y reducción de pérdidas no técnicas en el alimentador madero Vargas de la corporación Nacional de electricidad-El Oro*. (Tesis de pregrado). Universidad

Técnica de Cotopaxi. Ecuador. Recuperado de
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/880>

Chalá, T. y García, V. (2012). *Pérdidas En Distribución De Energía Eléctrica*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de [http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01 Perdidas en distribucion.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01%20Perdidas%20en%20distribucion.pdf)

Corton, M., Zimmermann, A. y Phillips, M. (2016). *The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil*. *Energy Policy*, 97, 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>

Dadda, A. y Ouhbi, I. (2014). *A decision support system for renewable energy plant projects*. *International Conference on Next Generation Networks and Services, NGNS*, 356–362. <https://doi.org/10.1109/NGNS.2014.6990278>

Dashti, R., Daisy, M., Mirshekali, H., Shaker, R. y Hosseini Aliabadi, M. (2021). *A survey of fault prediction and location methods in electrical energy distribution networks*. *Measurement*, 184(July), 109947. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109947>

De Oliveira, L., Melo, J., Padilha-Feltrin, A., Fernández-Gutiérrez, J., Sánchez, C. y Piedrahita, C. (2020). *A new way for comparing solutions to non-technical electricity losses in South America*. In *Utilities Policy* (Vol. 67, Issue August). <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101113>

Eckert, K. (2019). *Modelo basado en la toma decisiones con criterios múltiples para la elección de metodologías de data science* (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de Misiones. Argentina Recuperado de

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/67097>

- Electrosur. (2016). *Memoria Anual 2016 PRONABEC*. Recuperado de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1752786/Memoria Anual del Pronabec 2016.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1752786/Memoria%20Anual%20del%20Pronabec%202016.pdf.pdf)
- Electrosur. (2021). *Datos de la Concesionaria Electrosur S.A. - Moquegua*. Recuperado de <http://www.electrosur.com.pe/>
- Espinoza, C. (2010). *Metodología de la Investigación Tecnológica*. México DF, México: MCGRAW-HILL.
- Farshchian, G., Darestani, S., y Hamidi, N. (2020). *Developing a decision-making dashboard for power losses attributes of Iran's electricity distribution network*. Energy, 119248. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119248>
- García, F., y Iñesta, J. (2002). *Recorrido De La Energia La Electricidad*. (1ª ed.). España: E.i.S.E. Doménech, S.A.
- Gord, E., Dashti, R., Najafi, M., Santos, A. y Shaker, R. (2020). *Determining an accurate fault location in electrical energy distribution networks in the presence of DGs using transient analysis*. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 151, 107270. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107270>
- Henriques, H., Corrêa, R., Fortes, M., Borba, B. y Ferreira, V. (2020). *Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems*. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 161, 107840. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107840>
- Hernández, M., Figueroa, G., Santos, M., Rodríguez, G. y Escobedo, H. (2015). Modelo para detectar y prevenir pérdidas y redes bayesianas con base en técnicas de

- minería de datos no técnicas en sistemas de distribución eléctrica. *Boletín IIE*. 192–199. Recuperado de <https://www.ineel.mx/boletin042015/tecni2.pdf>
- Ibrahim, K., Au, M., Gan, C. y Tang, J. (2017). *System wide MV distribution network technical losses estimation based on reference feeder and energy flow model*. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 93, 440–450. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.06.011>
- Juarez, J. (1995). *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*. (1ª ed.). México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Kahraman, C. y Kaya, I. (2010). *A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives*. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6270–6281. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.095>
- Lee, T., Ho, C., Lin, C. y Kang, M. (2011). *Design of artificial neural networks for distribution feeder loss analysis*. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14838–14845. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.064>
- Leite, D., Pessanha, J., Simes, P., Calili, R. y Souza, R. (2020). *A stochastic frontier model for definition of non-technical loss targets*. *Energies*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/en13123227>
- Masías, G. (2007). *Impedancia FOC-ELEN20*. 15. Recuperado de <http://www.casdreams.com/cesf/foc/fo/impedancia.pdf>
- Mayer, L. (2012). *Generación - Distribución Energía Eléctrica*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/luisamayateacher/home/el-proceso-tecnologico-y-sus-etapas-o-fases>
- MINEM. (2016). *Capítulo 7. Pérdidas de energía eléctricas*. Dirección General de

Electricidad. Lima. Perú. Recuperado de
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%207%20Perdidas%20de%20energia%20electronica%202016.pdf>

Monta, E. (2009). *Estudio de las pérdidas de energía en la red de distribución secundaria del alimentador Bellavista perteneciente a la subestación Loreto, aplicando el método de la REA, Tungurahua, 2009*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cotopaxi. Ecuador

Monteiro, R., Guimarães, G., Silva, F., da Silva, R., Carvalho, B., Finazzi, A. y de Vasconcellos, A. (2018). *A medium-term analysis of the reduction in technical losses on distribution systems with variable demand using artificial neural networks: An Electrical Energy Storage approach*. *Energy*, 164, 1216–1228.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.021>

Novoselnik, B., Bolfek, M., Bošković, M. y Baotić, M. (2017). *Electrical Power Distribution System Reconfiguration: Case Study of a Real-life Grid in Croatia*. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.011>

Ochoa, A. (2010). *Estudio para determinar las pérdidas de energía del alimentador 124 perteneciente al sistema de distribución de la empresa Eléctrica Azogues* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1957/12/UPS-CT002031.pdf>

OSINERGMIN. (2013). *INF 0432-2013-GART_Aprobación Fijación VAD 2013-2017_Técnico*. Recuperado de <http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/VAD/VAD2013/pdf>

Paricahua, R. y Fernández, G. (2017). *Estudio Y Análisis De Una Metodología Para La*

Estimación De Pérdidas Técnicas En Redes De Distribución De Energía Eléctrica En La Región De Puno 2017. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno.

Pascaul, J. (2019). *Diseño de investigación para la implementación de monitoreo remoto en transformadores de distribución, para mejorar la calidad del servicio eléctrico y aumento de la eficiencia energética* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1011_EA.pdf

Raposo, A. , Rodrigues, A. y da Guia, M. (2020). *Robust meter placement for state estimation considering Distribution Network Reconfiguration for annual energy loss reduction.* *Electric Power Systems Research*, 182(December 2019), 106233. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106233>

Roy, B. y Słowiński, R. (2013). *Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method.* *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1–2), 69–97. <https://doi.org/10.1007/s40070-013-0004-7>

Roychoudhury, I. y Daigle, M. (2009). *Comprehensive Diagnosis of Complex Electrical Power Distribution Systems.* In *IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 42, Issue 8). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20090630-4-ES-2003.00120>

Savian, F., Siluk, J., Garlet, T., do Nascimento, F., Pinheiro, J. y Vale, Z. (2021). *Non-technical losses: A systematic contemporary article review.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111205>