

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**“INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) BASADO EN LA TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION), CON LA SUB-ESTACIÓN ELÉCTRICA PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE TACNA, AÑO 2022”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ANGEL ALBERTO ARTEAGA CHAVEZ**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS**

**“INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) BASADO EN LA TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION), CON LA SUB-ESTACIÓN ELÉCTRICA PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE TACNA, AÑO 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 3 de mayo de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mag. JOSE MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA**

**SECRETARIO : Ing. CARLOS ARMANDO RODRIGUEZ SILVA**

**VOCAL : Mtra. MARÍA ELENA VILDOZO ZAMBRANO**

**ASESOR : Mag. JUAN ANIBAL ESPINOZA ARANCIAGA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Angel Alberto Arteaga Chavez, egresado, de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 45548093, así como Juan Anibal Espinoza Aranciaga con DNI 06154874; declaramos en calidad de autor y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *“Integración de sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna, año 2022”*, la cual presentamos para optar el Título profesional de *Ingeniero Electrónico*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado las rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debería ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normativa vigente.

Tacna, 10 de abril de 2023

Angel Alberto Arteaga Chavez  
DNI: 45548093

Juan Anibal Espinoza Aranciaga  
DNI: 06154874

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de investigación se lo dedico con mucho cariño y bastante amor a Dios y mi hermosa madre, mis hermanas, que son mi principal motivo para ir creciendo como persona y como profesional y también a mis docentes que fueron los que me compartieron sus conocimientos técnicos y científicos durante toda mi formación académica, ya que sin ellos no hubiera logrado alcanzar mis metas y mis objetivos.

Angel Alberto Arteaga Chavez

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a mi asesor Mag. Juan Anibal Espinoza y todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por compartirme sus conocimientos y haber resuelto todas inquietudes durante toda mi vida académica ya que sin ellos no hubiera sido posible alcanzar mis logros.

Y sobre todo agradezco a mi señora madre Oriele Eccuva Chávez Lanchipa y mis hermanas Jazmin y Angie Luz por darme la fuerza y el motivo de seguir adelante gracias por estar siempre presente en cada momento de mi vida.

Angel Alberto Arteaga Chavez

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general .....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general. ....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	5
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.1.1. A nivel Internacional .....	5
2.1.2. A nivel nacional .....	6
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.2.1. Fundamentos del Power Line Communications (PLC).....	7
2.2.1.1. Arquitectura de la red PLC.....	7
2.2.1.2. Sistema Indoor y Outdoor. ....	8
2.2.1.3. Características de la tecnología PLC.....	9
2.2.1.4. Flujo de la información en el sistema PLC.....	10
2.2.1.5. Clasificación de la Tecnología PLC .....	11
2.2.2. Sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) .....	12
2.2.2.1. Los sistemas de comunicación .....	14

2.2.2.2.	Sistemas AMI basado en RF .....	14
2.2.2.3.	Sistemas AMI basado en GPRS .....	15
2.2.2.4.	Sistemas AMI basado en PLC .....	16
2.2.2.5.	Los equipos de medición .....	17
2.2.2.6.	Sistema de Gestión Empresarial (MDM).....	19
2.2.3.	El Sistema Eléctrico de Potencia.....	20
2.2.3.1.	Generación eléctrica .....	20
2.2.3.2.	Transmisión eléctrica .....	21
2.2.3.3.	Distribución eléctrica.....	21
2.2.4.	Operatividad del sistema eléctrico de potencia (SEP) .....	22
2.2.5.	Las redes eléctricas inteligentes .....	25
2.2.5.1.	Principio de Operación.....	26
2.2.5.2.	Características de Funcionamiento.....	27
2.2.5.3.	Arquitectura establecida.....	27
2.2.6.	Normativa sobre la energía eléctrica en el Perú .....	28
2.2.6.1.	La generación eléctrica .....	29
2.2.6.2.	La transmisión eléctrica .....	29
2.2.6.3.	La distribución eléctrica.....	29
2.3.	Definición de términos.....	30
2.3.1.	Calidad de energía eléctrica.....	30
2.3.2.	Equipo eléctrico .....	30
2.3.3.	Medidor inteligente .....	30
2.3.4.	Plataforma smart grid .....	30
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		31
3.1.	Diseño de la investigación.....	31
3.1.1.	Tipo de investigación.....	31
3.1.2.	Nivel de la Investigación.....	31
3.2.	Población y/o muestra del estudio.....	31
3.2.1.	Muestra de estudio .....	31
3.3.	Operacionalización de variables.....	31
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	32
3.4.1.	Técnicas de recolección de los datos.....	32
3.4.1.1.	Técnica de análisis documental .....	32
3.4.2.	Instrumentos para la recolección de los datos .....	32
3.5.	Procesamiento y análisis de datos .....	33
3.5.1.	Metodología empleada .....	33
3.6.	Diseño de la investigación.....	34

CAPITULO IV: RESULTADOS .....	35
4.1. Propuesta del sistema AMI para el Parque Industrial de Tacna .....	35
4.1.1. Descripción de la zona de estudio.....	35
4.1.2. Sub-estación eléctrica Parque Industrial de Tacna .....	35
4.1.3. Ubicación de la zona de estudio.....	38
4.2. Infraestructura del sistema AMI.....	40
4.2.1. Componentes de campo .....	41
4.2.2. Componente de comunicaciones .....	42
4.2.3. Componente de gestión empresarial.....	42
4.3. Propuesta del sistema AMI para el Parque Industrial de Tacna .....	42
4.3.1. Smart Meter (medidor inteligente).....	44
4.3.2. Gateway (también conocido como concentrador de datos) .....	44
4.3.2.1. Características de operación .....	44
4.3.2.2. Características del concentrador de datos propuesto.....	45
4.3.3. Red de telecomunicaciones .....	46
4.3.4. Sistema de tele-gestión MDMS .....	49
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	51
5.1. Análisis de la infraestructura del sistema AMI.....	51
5.1.1. Anillo.....	52
5.1.2. Radial .....	53
5.1.3. Interconectado.....	54
5.1.4. Análisis comparativo.....	55
5.2. Análisis del protocolo de comunicación de la tecnología PLC .....	55
5.3. Análisis comparativo.....	56
CONCLUSIONES .....	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS .....	64



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	32
Tabla 2. Comparación de las tecnologías PLC existentes.....	48
Tabla 3. Parámetros de protocolos de comunicación utilizados en los PLC .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red de acceso PLC .....	8
Figura 2. Sistema Indoor y outdoor.....	9
Figura 3. Flujo de la información en el sistema PLC.....	11
Figura 4. Ámbito de cobertura de los Sistemas de Medición Inteligente .....	13
Figura 5. Principales componentes de los Sistemas de Medición Inteligente .....	14
Figura 6. Solución de un sistema AMI basado en RF.....	15
Figura 7. Solución de un sistema AMI basado en GPRS .....	16
Figura 8. Solución de un sistema AMI basado en PLC.....	17
Figura 9. Medidor inteligente trifásico .....	18
Figura 10. Empleo del concentrador de datos .....	19
Figura 11. Integración del Sistema de Gestión de Datos de Medición (MDM) .....	20
Figura 12. Esquema de un sistema eléctrico de potencia (SEP).....	23
Figura 13. Infraestructura de las redes eléctricas y telecomunicaciones en el Siglo XX .....	24
Figura 14. Integración de las redes eléctricas y de telecomunicaciones en la actualidad.....	24
Figura 15. Esquema de una red eléctrica inteligente (smart grid) .....	25
Figura 16. Diagrama de los sistemas de información de la red Inteligente .....	28
Figura 17. Ubicación geográfica del distrito de Alto de la Alianza .....	35
Figura 18. Sub-Estación Parque Industrial .....	36
Figura 19. Ternas de la subestación de Transformación Parque Industrial.....	37
Figura 20. Ubicación de la sub-Estación de Transformación Parque Industrial .....	37
Figura 21. Ubicación de la zona de estudio .....	38
Figura 22. Vías de acceso al Parque Industrial .....	39
Figura 23. Ubicación de las Áreas según el tipo de actividad.....	40

Figura 24. Infraestructura de un sistema AMI .....	41
Figura 25. Sistema PLC empleado en el proyecto.....	48
Figura 26. Red eléctrica interconectada en topología anillo .....	52
Figura 27. Red eléctrica interconectada en topología radial .....	53
Figura 28. Red eléctrica interconectada .....	54

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto de tesis es implementar un sistema avanzado de medición de energía eléctrica que utilice la tecnología PLC (Power Line Communication) en la Sub-Estación Parque Industrial de Tacna. Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las alternativas tecnológicas disponibles para los sistemas de medición (AMI). Los sistemas de medición AMI basados en la tecnología PLC de banda angosta (PLC\_NB), permiten procesar los datos obtenidos de las mediciones de consumo de energía eléctrica de los medidores inteligentes de los usuarios por parte de la empresa comercializadora de energía eléctrica a través de la misma red de distribución eléctrica. Mediante la propuesta de un sistema de tele-gestión inteligente, se buscó mejorar el proceso tradicional de medición de consumo de energía eléctrica, identificando posibles manipulaciones o errores en los medidores que ocurren actualmente. Esta tecnología permitirá asegurar una cobertura del 100 % para todos los usuarios ubicados en el Parque Industrial, brindando una solución más eficiente y confiable para la gestión de la energía eléctrica.

**Palabras claves:** tele-gestión; sistema AMI; sistema PLC; tecnología de banda angosta.

## ABSTRACT

The objective of this thesis project is to implement an advanced electrical energy metering system using PLC (Power Line Communication) technology at the Tacna Industrial Park Sub-Station. An exhaustive evaluation of the technological alternatives available for Advanced Metering Infrastructure (AMI) systems was carried out. AMI systems based on narrowband PLC technology allow the transmission of metering data and customer consumption information to the utility through the same electrical distribution network, using smart energy meters. Through the proposal of an intelligent tele-management system, we sought to improve the traditional process of measuring electricity consumption, identifying possible manipulations or errors in the meters that currently occur. This technology will ensure 100 % coverage for all users located in the Industrial Park, providing a more efficient and reliable solution for electricity management.

**Keywords:** tele-management; AMI system; PLC system; narrowband technology.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de medición de energía eléctrica son componentes esenciales dentro del sistema global de generación, transmisión y distribución de energía. Estos sistemas tienen como propósito simplificar la gestión de la facturación, supervisión y regulación de la infraestructura eléctrica. Con el paso del tiempo, se han ido evolucionando estos sistemas, desde aquellos que manejan grandes niveles de potencia eléctrica, hasta los que gestionan niveles más bajos de potencia. Esta evolución es resultado de la complejidad inherente al seguimiento de las redes eléctricas a medida que la electricidad se desplaza hasta el usuario final. La inclusión de sistemas de medición en niveles de baja y mediana tensión intermedia implica un aumento en la inversión total del proyecto.

El aumento en la demanda de energía, junto con la insuficiencia en el suministro de energía, ha llevado a propuestas internacionales que buscan involucrar al usuario en temas de gestión y eficiencia energética. Como resultado, las empresas distribuidoras eléctricas se han visto motivadas a renovar su equipamiento e infraestructura física, incorporando nuevas soluciones tecnológicas que permiten un mayor control y gestión de sus recursos. Esto también ha llevado a establecer nuevos canales de comunicación con los usuarios finales, creando un mercado potencial para las empresas de servicios públicos.

En el mercado actual, se han presentado diversas innovaciones en los sistemas de medición dirigidos al usuario. Estas van desde mejoras en la tecnología del medidor eléctrico, dotándoles de mejores funciones, hasta innovaciones que faciliten el intercambio de información entre diferentes elementos de la red de baja tensión, estableciendo una comunicación confiable entre la empresa distribuidora eléctrica y sus usuarios, así como con otras empresas de servicios públicos.

Esta tesis fue diagramada de la siguiente manera: En el capítulo I se analiza la problemática existente en el Parque Industrial de la ciudad de Tacna. En el capítulo II se presentan los antecedentes (información obtenida de otras investigaciones) que van a servir de apoyo en el desarrollo de mi investigación; luego se describe los fundamentos teóricos. El capítulo III presenta el marco metodológico de la investigación desarrollada y que establecer el procedimiento a seguir. El capítulo IV se presenta la propuesta del sistema AMI para el Parque Industrial de Tacna. El capítulo V se analiza los resultados obtenidos nuestra propuesta, finalizando con las conclusiones a las que se llega y proponiendo recomendaciones para las mejoras en mi investigación.

## CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema.

Una de las dificultades más notables que confrontan las compañías de distribución eléctrica, particularmente en la ciudad de Tacna, radica en las pérdidas de energía eléctrica. Estas pérdidas están relacionadas con desafíos en la administración técnica, operativa y comercial de estas empresas, que abarcan desde pérdidas debidas a cuestiones técnicas, hasta malas lecturas en el registro del consumo de energía eléctrica o de un mal desempeño del sistema eléctrico.

Ante la situación actual que se presentan en las redes de distribución eléctrica de mediana y baja tensión, resulta esencial que las empresas comercializadoras de energía eléctrica adopten soluciones tecnológicas con acceso remoto, con el propósito de mejorar la gestión energética que beneficie a sus usuarios.

En el contexto actual de promoción del desarrollo sostenible y de manejo eficiente de la gestión energética, toma mucha importancia el empleo de los sistemas inteligentes de gestión de medición de energía, convirtiéndose en un componente fundamental en la industria eléctrica. Este enfoque apunta a la creación e implementación de un sistema de gestión de medición remota, capaz de expandir las posibilidades de aplicaciones y servicios, además de aumentar la eficacia en los procedimientos operativos y administrativos de las empresas prestadoras de servicios de energía eléctrica.

### 1.2. Formulación del problema

#### 1.2.1. Problema general

¿En qué medida, un sistema de medición avanzada AMI basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), se integrará con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna en el año 2022?

#### 1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿En qué medida la descripción y evaluación de la infraestructura eléctrica existente de la subestación eléctrica que suministra energía eléctrica en el Parque Industrial, facilitará la propuesta de un sistema de medición (AMI)?
- b. ¿En qué medida el establecimiento de las características y las funcionalidades del equipamiento propuesto, permitirá integrar el sistema de medición avanzada

utilizando la tecnología PLC con la subestación eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna?

- c. ¿En qué medida la realización del análisis comparativo de cada alternativa tecnológica permitirá la adecuada elección del sistema de medición avanzada AMI en la zona de estudio?

### **1.3. Justificación e importancia**

La integración de un sistema de medición eléctrica avanzada a la red de distribución eléctrica tiene una justificación y una importancia significativa debido a una serie de beneficios clave que ofrece. A continuación, se enumeran algunos de los motivos más destacados:

**Reducción de pérdidas de energía:** un sistema de medición avanzada permite una medición más precisa y en tiempo real del consumo de energía eléctrica. Esto ayuda a detectar y reducir las pérdidas técnicas y no técnicas en la red de distribución, lo que mejora la eficiencia energética y evita costos innecesarios.

**Mejora de la gestión técnica:** permite la realización de mediciones en tiempo real y con un alto grado de precisión, donde las empresas de distribución pueden identificar problemas técnicos en la red, como sobrecargas, caídas de tensión y fluctuaciones. Esto permite una respuesta más rápida y eficiente para solucionar los problemas y mantener la red funcionando de manera óptima.

**Mayor eficiencia operativa:** la disponibilidad de datos precisos y actualizados sobre el consumo de energía eléctrica permite a las empresas de distribución mejorar sus procesos operativos. Esto incluye una mejor planificación del mantenimiento, programación de cargas y ajuste de la generación para satisfacer la demanda en tiempo real, lo que conduce a una gestión más eficiente de los recursos.

**Fomento de la sostenibilidad energética:** al reducir las pérdidas de energía y mejorar la eficiencia operativa, un sistema de gestión de medición avanzada contribuye a una mayor sostenibilidad energética. Esto es especialmente importante en un contexto global en el que la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono son objetivos cruciales.

**Impulso a la participación del cliente:** un sistema de medición avanzada brinda a los consumidores una visión más detallada de su consumo de energía en tiempo real. Esto les permite tomar decisiones informadas sobre su consumo y, a través de tarifas más flexibles, fomenta una mayor participación del cliente en la gestión de su energía.



Potencia la administración medio ambiental: facilita la disminución directa de emisiones de gases de efecto invernadero y otras sustancias contaminantes al reducir la dependencia de combustibles fósiles, alentando en cambio la producción de energía a partir de fuentes renovables. De forma indirecta, posibilita la sustitución de automóviles que emplean derivados del petróleo como combustible por vehículos eléctricos que pueden ser recargados a través de la red eléctrica.

Genera beneficios económicos al usuario: se reducen los costos de operación del consumo de energía eléctrica.

En resumen, la justificación e importancia de integrar un sistema de gestión de medición eléctrica avanzada en la red de distribución eléctrica radica en su capacidad para mejorar la eficiencia, reducir pérdidas, facilitar la integración de energías renovables y fomentar una mayor sostenibilidad energética, todo ello contribuyendo a una mejor gestión global del sistema eléctrico.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

Integrar un sistema de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna, año 2022.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- a. Describir y evaluar la infraestructura eléctrica existente de la subestación eléctrica que suministra energía eléctrica en el Parque Industrial, a fin de proponer un sistema de medición avanzada (AMI)
- b. Establecer las características y las funcionalidades del equipamiento propuesto, que permita integrar el sistema de medición avanzada utilizando la tecnología PLC con la subestación eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna.
- c. Realizar el análisis comparativo de cada alternativa tecnológica que permita la adecuada elección de los elementos que componen el sistema de medición avanzada (AMI) en la zona de estudio.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

La tesis fue desarrollada empleando la información de diagramas unifilares de transmisión secundaria de los sistemas de distribución eléctrica de la empresa Electrosur, suministrado por Osignermin. Así mismo, se recurrió a la revisión bibliográfica de repositorios universitarios nacionales e internacionales, artículos científicos e información de la world wide web, referidos a los sistemas Power Line Communications (PLC) y a los sistemas inteligentes de medición.

#### 2.1.1. A nivel Internacional

Orbea y Chacha (2014) en su proyecto de diseño de una red LAN con acceso a internet mediante una red PLC concluyeron que "se ha demostrado que existen factores que influyen en la eficiencia de la comunicación en la red, como la distancia y la arquitectura de la red eléctrica. Esto se pudo constatar al aumentar la distancia entre el Gateway y una estación, lo que resultó en una atenuación de la señal y una disminución en la calidad y velocidad de transmisión del canal. Que existen limitaciones para implementar redes de datos utilizando PLC debido a la falta de estandarización de la tecnología PLC. Esto se debe a que las redes eléctricas y las de telecomunicaciones generalmente no están reguladas de la misma manera, lo que requiere definir cómo manejar una red que puede comportarse como una red eléctrica y de telecomunicaciones al mismo tiempo" (pp. 11-12).

Idrovo y Reinoso (2012) en su trabajo de tesis concluyó que "Las posibilidades tecnológicas que los sistemas AMI ofrecen son extensas, y su máximo aprovechamiento estará íntimamente ligado a la inventiva de la Empresa para identificar las aplicaciones y servicios que pueda proporcionar a sus clientes que se beneficien de los medidores inteligentes. Recomendaron que, en la planificación de las redes inteligentes, se debería seguir recomendaciones internacionales, como la recomendación IEC 61968. Dicha recomendación establece una arquitectura de los elementos clave para los sistemas de gestión de la distribución (DMS). La finalidad de adherirse a las recomendaciones internacionales, es que las organizaciones empresariales puedan adaptarse rápidamente al empleo de las nuevas tecnologías y obtener beneficios de la estandarización que estas ofrecen" (pp. 180-181).

López (2008) en su trabajo de tesis “examinó el estado actual de los sistemas de medición destinados a los usuarios de las redes de baja tensión en Chilectra S.A.; así mismo analizó las tendencias de los sistemas de medición inteligente (AMI) vigentes a nivel mundial. Realizó una evaluación técnico-económica en posibles escenarios: dos sistemas con opciones diferentes de tarifas eléctricas y prestación de servicios adicionales y un sistema de lectura vía remota con corte y reposición del servicio eléctrico. Además, logró identificar la relación costo-beneficio que inciden en la rentabilidad del proyecto. De la evaluación de los resultados obtenidos, desarrolló una propuesta tecnológica con las características mínimas del sistema de medición inteligente, analizando los riesgos del proyecto y presentó alternativas de sistemas de medición avanzada disponibles en el mercado”.

Ribeiro, Lampe, Dostert, et al. (2007) manifestaron que: “la razón principal para considerar el empleo de la red eléctrica como medio de comunicación radica en la amplia cobertura que ofrecen a nivel mundial. Las redes de distribución eléctrica abarcan prácticamente todos los hogares, desde las zonas urbanas como en zonas rurales periféricas, lo que permite potencialmente disponer de un medio para llevar señales de comunicación. Esta ventaja se extiende también a edificios residenciales y comerciales, así como a vehículos móviles como automóviles, barcos, aviones e incluso naves espaciales, donde el cableado eléctrico facilita la implementación de sistemas PLC para la comunicación interna. En consecuencia, las líneas eléctricas ofrecen una infraestructura ya establecida que puede aprovecharse para habilitar la transmisión de datos en diversos entornos y situaciones, lo que hace que las comunicaciones por línea eléctrica sean una opción atractiva para garantizar la conectividad en amplias áreas geográficas”.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Mamani (2018) en su trabajo de tesis concluyó que “según el estudio llevado a cabo sobre el sistema de medición de energía eléctrica, se evaluó el estado actual de las instalaciones eléctricas, de la subestación Ananea y de los equipos de medición. Que, realizado una comparación de las soluciones tecnológicas disponibles, concluyó que la alternativa técnica y económicamente más viable y confiable para el desarrollo del proyecto era la opción AMI - PLC. Se llegó a esta conclusión porque para adoptar una solución basada en la tecnología RF sería necesario invertir en infraestructura radioeléctrica, mientras que la solución GPRS presenta limitaciones en la transferencia de datos” (p. 87).

García (2017) manifestó que en su trabajo de tesis “se llevó a cabo una evaluación técnica - económica para implementar un sistema de medición inteligente que permita la tele-gestión energética eficiente en el área de concesión de Enel Distribución Perú S.A.A. Se eligió esta zona debido a la diversidad de inconvenientes que presenta su red de baja tensión, incluyendo fallas, emergencias y pérdidas, especialmente de naturaleza no técnica. El proyecto involucró pruebas en campo como actividades preliminares para recopilar datos y cumplir con ciertos requisitos técnicos y recomendaciones proporcionadas por las diferentes áreas involucradas. A partir de los requisitos, datos recopilados y recomendaciones, se desarrolló una metodología que permita que cada objetivo del proyecto se cumpla. En conclusión, se demostró la viabilidad del proyecto, destacando los importantes beneficios que aportaría tanto a los usuarios como a la empresa distribuidora”.

Zegarra (2017) en el análisis efectuado en su trabajo de tesis concluyó que “durante las últimas décadas, el área de diseño de redes eléctricas ha experimentado pocos cambios significativos en su metodología de trabajo. Sin embargo, con la implementación del sistema de medición eléctrica inteligente, se espera que la Empresa prestadora del servicio de distribución eléctrica gestione información exacta sobre el consumo de energía real de sus usuarios. Esto permitirá una planificación más efectiva de las redes de distribución, ya que se contará con datos precisos para tomar decisiones informadas” (p.75).

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Fundamentos del Power Line Communications (PLC)**

La tecnología de comunicaciones a través de la Línea Eléctrica (PLC) consiste en un conjunto de elementos (equipos, medios de transmisión, infraestructura eléctrica) que utilizan las redes de distribución eléctrica para brindar a los usuarios servicios propios de los operadores de telecomunicaciones. En la tecnología PLC, la señal viaja a través del cableado eléctrico y necesita de un módem utilizado como cabecera, situado en el centro de control para transmitir la información. En las viviendas, se instala un módem PLC que permite la conexión de dispositivos como computadoras, teléfonos e impresoras, además de otros dispositivos que sean compatibles (Jiménez, 2009).

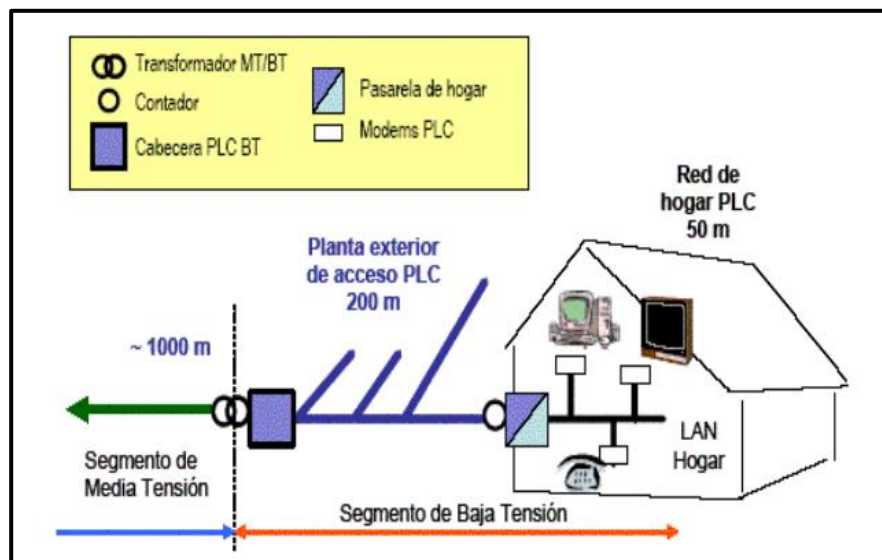
#### **2.2.1.1. Arquitectura de la red PLC**

La tecnología PLC hace uso de la red eléctrica de distribución que opera a niveles de media y baja tensión para transmitir señales. Esto implica el acceso al circuito local de

suscriptores, que abarca hogares y empresas, a través de dispositivos PLC. Estos equipos conectan las redes de media y baja tensión con una infraestructura troncal de datos, también llamada backbone o espina dorsal de la red, lo que posibilita la integración de redes de datos externas con las redes eléctricas. Este proceso culmina en la entrega de una red de acceso de gran alcance a los usuarios (Grajales, 2008).

En el entorno de los usuarios ubicados en redes de baja tensión en hogares, se emplean dispositivos especiales de usuario que permiten el acceso a la información que viaja por la red eléctrica, tal como se aprecia en la figura 1.

**Figura 1**  
*Red de acceso PLC*



*Nota.* Adaptada de Uso de redes PLC (Power Line Communication) para el envío de tráfico multimedia, (p. 57), García, L. y Portilla, L. (2013).

### 2.2.1.2. Sistema Indoor y Outdoor.

El sistema PLC de acuerdo a García y Portilla (2013), se compone fundamentalmente de dos elementos: Indoor PLC y Outdoor PLC, tal como se detalla en el diagrama de la figura 2.

#### a. Outdoor PLC

Esta faceta engloba la parte conocida en el ámbito de las telecomunicaciones como la "última milla", que se refiere al último tramo de una línea de comunicación, ya sea telefónica o de fibra óptica, que provee el servicio al usuario final. En el contexto del sistema PLC, esto se extiende desde la instalación del cableado en la red eléctrica de baja tensión, que va desde el

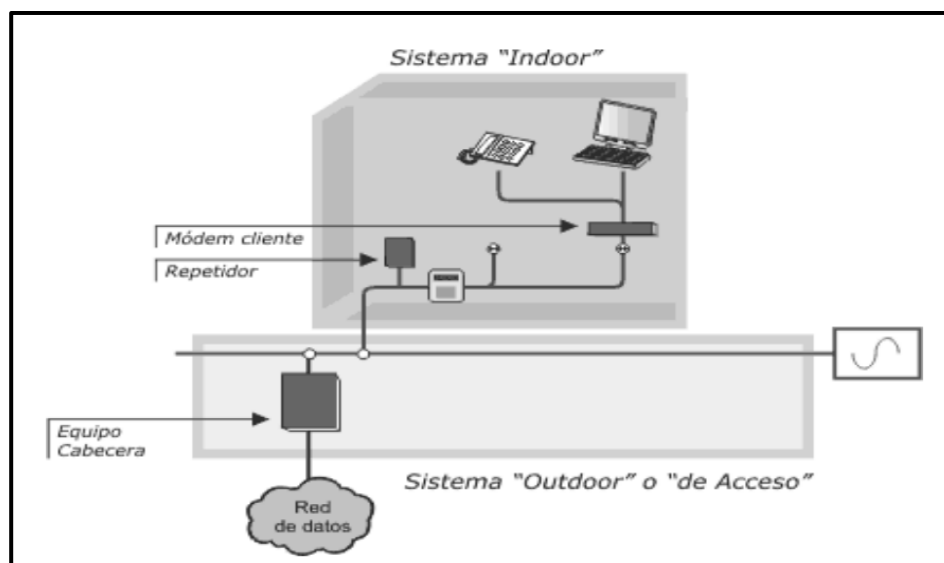
transformador de distribución hasta el medidor de energía eléctrica.

## b. Indoor PLC

Esta es la segunda parte del sistema de tecnología PLC y abarca desde el medidor inteligente del usuario hasta tomacorrientes o enchufes que se encuentran dentro de las viviendas.

### Figura 2

*Sistema Indoor y outdoor*



*Nota.* Adaptada de Uso de redes PLC (Power Line Communication) para el envío de tráfico multimedia, (p. 58), García, L. y Portilla, L. (2013).

### 2.2.1.3. Características de la tecnología PLC

Según Coronel (2011), la principal característica de un sistema con tecnología PLC, es permitir la transferencia de datos mediante la red de distribución eléctrica. Además, existen otras características importantes que se deben tomar en cuenta:

- Tecnología de banda ancha y banda angosta.
- Empleadas en las redes eléctricas de mediana y baja tensión.
- No requiere efectuar ninguna obra adicional para poder usar estas tecnologías, debido a que usa la propia red de distribución eléctrica para la transmisión de datos y voz.
- La tecnología PLC a diferencia de otras tecnologías (RF o GPRS), puede llegar a cualquier parte donde exista una red de distribución eléctrica.
- El dispositivo módem con tecnología PLC se conecta a través de una única toma

- f. La conexión del sistema PLC se mantiene durante las 24 horas del día.
- g. La instalación que requiere efectuar el usuario es rápida y sencilla.

#### **2.2.1.4. Flujo de la información en el sistema PLC**

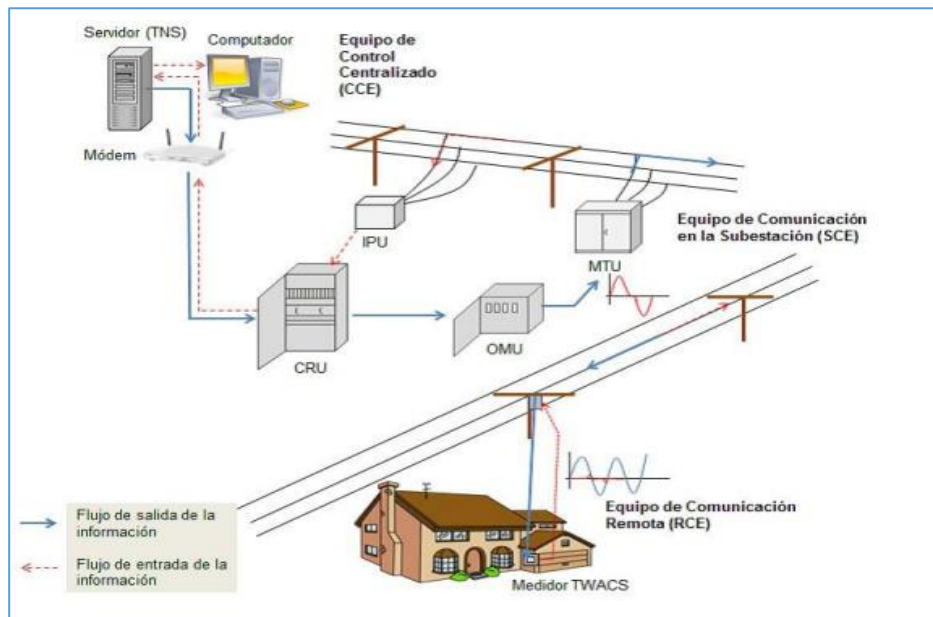
A continuación, se muestra un flujo de información típico de un sistema PLC en la red de distribución eléctrica de acuerdo a Mamani (2018):

- a. Generación de datos, la información se genera en una fuente, como un sensor, un sistema de control o un dispositivo electrónico.
- b. Modulación, los datos generados se modulan para convertirlos en señales adecuadas para la transmisión a través de la línea eléctrica. Esto suele involucrar la conversión de los datos digitales en señales analógicas o en una forma adecuada para la modulación digital.
- c. Inyección en la red eléctrica, las señales moduladas se inyectan en la red eléctrica. Esto puede hacerse mediante dispositivos especiales que se conectan a los enchufes eléctricos.
- d. Transmisión a través de la red eléctrica, las señales viajan a través de la red eléctrica utilizando las propias líneas eléctricas como medio de transmisión. Esto facilita el intercambio de información entre los diferentes dispositivos conectados a la red eléctrica.
- e. Recepción de señales, en el extremo receptor, se utilizan dispositivos similares para captar las señales transmitidas a través de la red eléctrica.
- f. Demodulación y decodificación, en el extremo receptor, las señales recibidas se demodulan y decodifican para recuperar los datos originales. Esto implica revertir el proceso de modulación realizado en el extremo transmisor.
- g. Procesamiento de datos, una vez que se han recuperado los datos, pueden ser procesados por dispositivos electrónicos, sistemas de control u otros dispositivos conectados al sistema PLC.
- h. Respuesta o acción, Dependiendo de la naturaleza del sistema, los datos procesados pueden utilizarse para tomar decisiones, activar dispositivos o realizar acciones específicas.

La figura 3 muestra como viaja la información a través de los diferentes elementos de un sistema Power Line Communications (PLC).

**Figura 3**

*Flujo de la información en el sistema PLC*



*Nota.* Adaptada de “Estudio del sistema de gestión de medición de energía eléctrica, basados en la tecnología PLC (Power Line Communication), de clientes mayores en el servicio eléctrico Ananea, 2018”, (p.27), Mamani, (2018).

### 2.2.1.5. Clasificación de la Tecnología PLC

En la actualidad, los sistemas que emplean la tecnología PLC mediante la línea de distribución eléctrica (PLC) ofrecen una forma cómoda y confiable para medir y transmitir datos, aprovechando enfoques innovadores y cumpliendo con regulaciones nacionales e internacionales tanto en el ámbito del sistema eléctrico como en el desarrollo de estas tecnologías. Además, se pueden categorizar según el rango de frecuencia (que abarca desde 0,3 kHz hasta 250 MHz) y su rango de velocidades de transmisión de datos (desde 100 bps hasta 1,8 Gbps). Así mismo, Las tecnologías PLC de banda ancha (PLC-WB) generalmente se dedican al empleo de aplicaciones con acceso a Internet, también conocidas como banda ancha a través de líneas eléctricas. Por otro lado, las tecnologías de banda estrecha (PLC-NB), se utilizan típicamente para transferir información en redes de baja potencia (García, 2006).

#### a. Tecnología de banda angosta (NB)

Según Lee et al. (2004), estas tecnologías funcionan en un rango de frecuencia promedio de hasta 500 kHz y ofrecen una gama de velocidades de transferencia de datos cuyo rango va desde 1 kbps hasta 100 kbps. El Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) aprobó el empleo de frecuencias igual



o inferiores a 148,5 kHz en sistemas PLC con aplicaciones cubriendo desde la mediana tensión hasta la baja tensión. La tecnología de banda estrecha (NB) ha demostrado ser una alternativa de solución para las empresas eléctricas, ya que les permite establecer comunicaciones, supervisar de modo remoto la entrega de energía eléctrica, monitorear la red eléctrica en caso de anomalías o de detección de fallos. La tecnología PLC-NB también se centra en aplicaciones que buscan una tele-gestión energética, garantizando una transferencia de datos altamente (hasta 500 kbps).

#### **b. Tecnología de banda ancha (BB)**

La tecnología PLC a través de la red de distribución eléctrica en banda ancha (PLC BB), capitaliza la infraestructura eléctrica para transformarla en una vía para la transferencia de datos de alta velocidad, lo cual habilita, entre otras funciones, el acceso a Internet mediante conexiones de banda ancha. Esta tecnología opera en las bandas de frecuencia de alta frecuencia (HF) y muy alta frecuencia (VHF), abarcando desde 1,8 MHz hasta 250 MHz. Además, presenta tasas de transmisión física (PHY) que varían desde varios megabits por segundo (Mbit/s) hasta varios cientos de Mbit/s. La elección frecuente de la tecnología Broad Band (banda ancha) se debe a su aplicación extendida en sistemas de distribución, lo cual se alinea con el enfoque del proyecto en cuestión. Esta tecnología resulta más factible debido a su capacidad para manejar frecuencias y velocidades elevadas (Lee et al., 2004).

#### **2.2.2. Sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)**

Esta tecnología va más allá de los límites de la solución AMR, ya que se considera una evolución. El sistema AMI establece una infraestructura de comunicación de doble vía que posibilita el intercambio de datos entre la empresa proveedora de servicios eléctricos y el medidor inteligente situado en la propiedad del usuario. Además de desempeñar las funciones de los sistemas AMR, también recopila información adicional sobre el consumo de energía eléctrica y otros parámetros eléctricos (Coronel, 2011).

Según la Comisión Federal de Regulación de Energía de los Estados Unidos (FERC, Commission, Federal Energy Regulatory), en el 2008 definió la infraestructura de Medición Avanzada:

“El Hardware y Software de comunicaciones y el software del sistema asociado y los sistemas de empresas de servicios públicos y que permite la recolección y

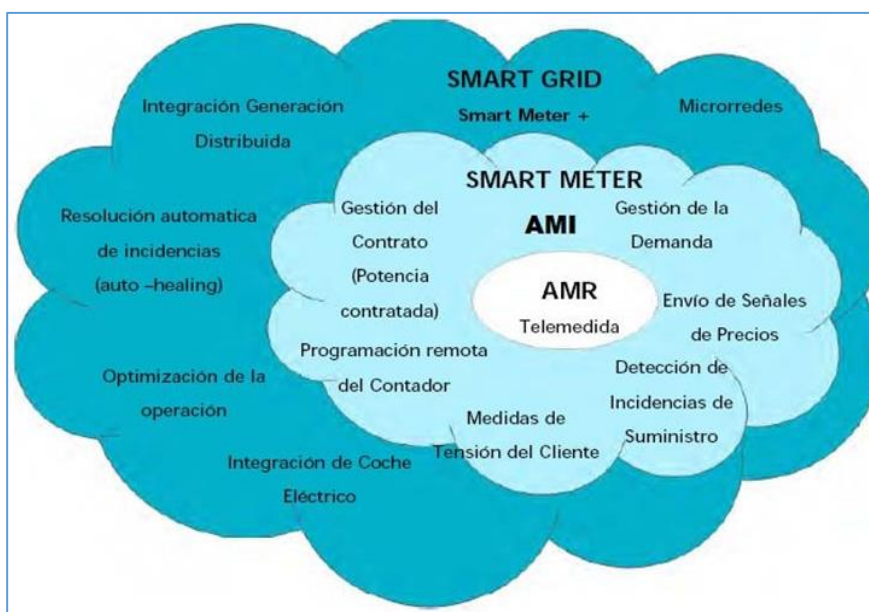
distribución de información a los usuarios, las empresas de distribución eléctrica y a otros interesados”

El sistema de medición avanzada de infraestructura (AMI) se describe como un conjunto que registra, recopila y examina el consumo de energía mediante diversos dispositivos, como medidores inteligentes para electricidad, que emplean diferentes sistemas de comunicación bidireccional. Esta estructura engloba componentes físicos, programas informáticos, canales de comunicación, sistemas vinculados al soporte al cliente y software destinado a la gestión de datos de medición (Muñoz, Pérez, Murrieta y Vela, 2019, p.8).

Como se observa en la figura 4, el alcance de los sistemas AMR principalmente se limita a la tele-medicación, mientras que los sistemas AMI son más avanzados y realizan tareas adicionales para crear aplicaciones inteligentes, ambos sistemas de medición son parte fundamental en la Red Inteligente. Los sistemas AMI permiten mejorar la gestión comercial, gestión de pérdidas, técnica y operativa.

**Figura 4**

*Ámbito de cobertura de los Sistemas de Medición Inteligente*



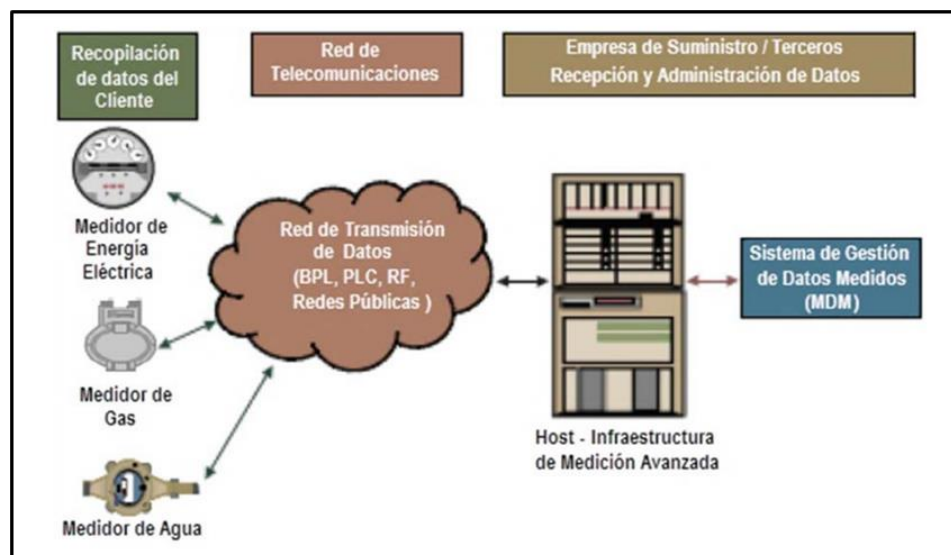
*Nota.* Adaptada de Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., (p. 73).

Un sistema de medición eléctrica avanzada (AMI) típico involucra tres componentes fundamentales, tal como se puede ver en la figura 5: Una red de

telecomunicaciones o sistema de comunicación, los equipos de medición y el sistema de gestión empresarial.

**Figura 5**

*Principales componentes de los sistemas de medición inteligente*



*Nota.* Adaptada de #Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A”, (p. 70), Coronel (2011).

### 2.2.2.1. Los sistemas de comunicación

Los sistemas de transmisión de datos emplean diferentes tecnologías, que, dependiendo de las condiciones de la zona de estudio, pueden ser:

- RF (Radio Frecuencia): utiliza el espectro radioeléctrico como medio de comunicación.
- GPRS (General Packet Radio Service): empleado en la transmisión de datos mediante el método de conmutación de paquetes, se trata de un servicio de las comunicaciones móviles.
- PLC (Power Line Communications): es un sistema de comunicaciones que utiliza la red de distribución eléctrica convencionales para transmitir señales con propósitos de procesar la información del sistema AMI.

### 2.2.2.2. Sistemas AMI basado en RF

Según Mamani (2018), “Una de las elecciones presentes en el mercado para las soluciones AMI consiste en la implementación del sistema de comunicación mediante radiofrecuencia. Esta opción se destaca por emplear frecuencias de radio no sujetas a

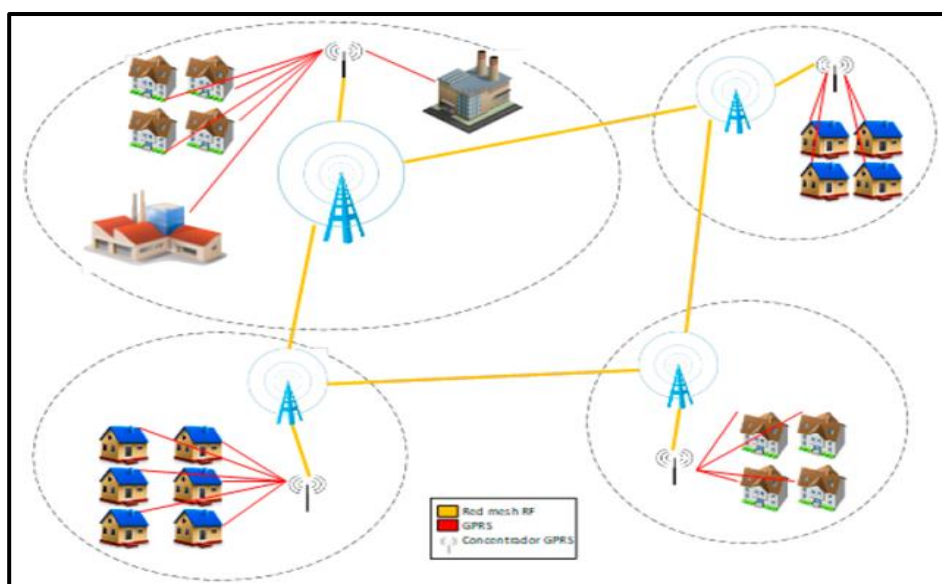
licencia en la mayoría de las implementaciones” (pp. 19-20).

Esta alternativa de emplea la banda de frecuencia no licenciada de 2,4 y/o 5,8 GHz para la red troncal de comunicación, configurada en forma de red mesh. La red mesh se compone de dispositivos distribuidos en un área de cobertura específica, interconectados entre sí. El objetivo de esta configuración es habilitar la información para que pueda transitar por diversas rutas con el fin de prevenir la interrupción de los enlaces de comunicación. No obstante, es relevante resaltar que esta solución requiere la implementación de infraestructura de comunicaciones. Esto requiere la presencia de profesionales especializados en telecomunicaciones para llevar a cabo la instalación y el mantenimiento del sistema, lo cual podría traducirse en costos iniciales considerables.

La figura 6 muestra un sistema AMI basado en RF.

**Figura 6**

*Solución de un sistema AMI basado en RF*



*Nota.* Adaptada de “Estudio del sistema de gestión de medición de energía eléctrica, basados en la tecnología PLC (Power Line Communications), de clientes mayores en el servicio eléctrico Ananea, 2018”, (p.21), Mamani (2018).

### 2.2.2.3. Sistemas AMI basado en GPRS

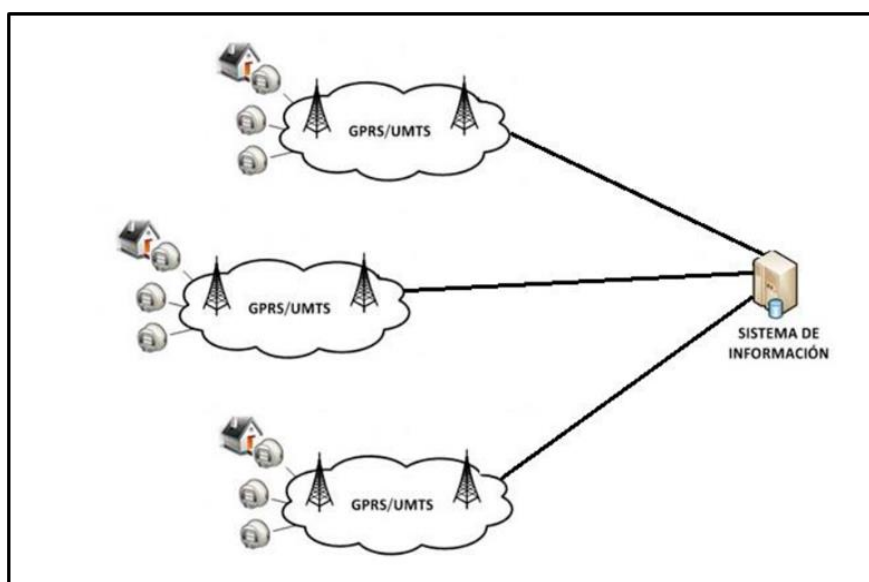
Para Mamani (2018), “Los sistemas AMI que emplean comunicaciones mediante GPRS presentan una alternativa interesante para la transmisión de datos, ya que evitan la necesidad de que la compañía de distribución establezca su propia red de comunicaciones, lo que conlleva una reducción sustancial en los costos asociados con la implantación y el mantenimiento del canal de comunicación” (p.22).

GPRS es una tecnología de comunicación móvil diseñada especialmente para la transmisión de datos. Ofrece una velocidad de conexión más veloz y la ventaja de estar siempre conectado, siempre y cuando exista cobertura en el área.

Adicionalmente, se factura de acuerdo con la cantidad de información transmitida, no en función del tiempo de conexión, lo que permite al usuario abonar únicamente por el volumen de datos transferidos. Para enlazar los medidores, únicamente se requerirá la instalación de un módem GPRS apropiado, utilizando los puertos de comunicación disponibles en el medidor. El diagrama en la figura 7 ilustra un sistema AMI basado en GPRS.

**Figura 7**

*Solución de un sistema AMI basado en GPRS*



*Nota.* Adaptada de “Estudio del sistema de gestión de medición de energía eléctrica, basados en la tecnología PLC (Power Line Communications), de clientes mayores en el servicio eléctrico Ananea, 2018”, (p.22), Mamani (2018).

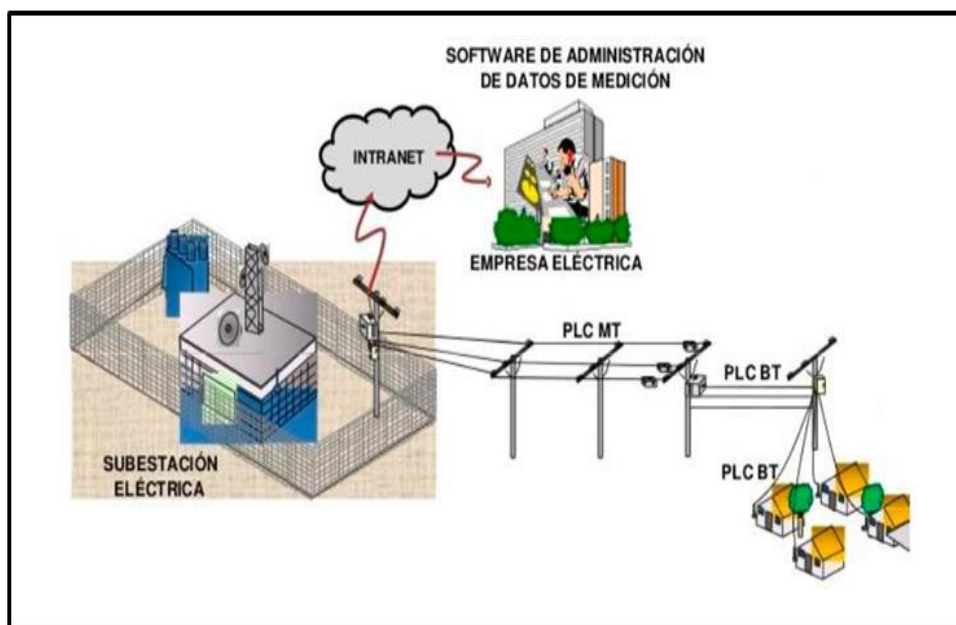
#### **2.2.2.4. Sistemas AMI basado en PLC**

Para Mamani (2018), "Los sistemas de Medición Avanzada de Infraestructura (AMI) que se basan en la tecnología PLC, aprovechan la infraestructura eléctrica ya establecida para transmitir tanto los datos de medición como la información sobre el consumo de los usuarios a la compañía eléctrica. Esto significa que no es necesario establecer redes externas ni implementar una infraestructura de comunicación adicional dedicada exclusivamente a estos propósitos" (p.22).

La solución basada en la tecnología PLC implica la instalación de dispositivos en la subestación de transformación, que funcionan como puntos centrales para intercambiar información entre los usuarios y la empresa. Estos dispositivos siguen un diseño convencional y pueden adaptarse a la infraestructura eléctrica que ya existe allí. Para conectar los medidores, solo se necesita instalar el modem PLC adecuado en cada medidor, lo que permite que se comuniquen a través de la línea eléctrica." La figura 8 muestra un sistema AMI basado en PLC.

**Figura 8**

*Solución de un sistema AMI basado en PLC*



*Nota.* Adaptada de "Estudio del sistema de gestión de medición de energía eléctrica, basados en la tecnología PLC (Power Line Communications), de clientes mayores en el servicio eléctrico Ananea, 2018", (p.24), Mamani (2018).

### 2.2.2.5. Los equipos de medición

#### a. Medidor Inteligente

Según la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC, 2008), se define como: "un medidor avanzado (de energía eléctrica) que procesa el consumo de los usuarios en intervalos y transmite esta información en tiempo real a la empresa de servicios a través de una red de comunicación, con fines de tele-gestión energética. El medidor inteligente permite una establecer un intercambio de información en ambos sentidos entre el medidor y el sistema central". El Medidor Inteligente es un dispositivo electrónico que se encarga de la tele-supervisión, y de la tele-gestión energética de modo eficiente del consumo

energético de los usuarios, controlando el estado del suministro eléctrico y analizando la red eléctrica ante posibles fallos. La figura 9 ilustra un ejemplo de medidor inteligente estándar.

### Figura 9

#### *Medidor inteligente trifásico*

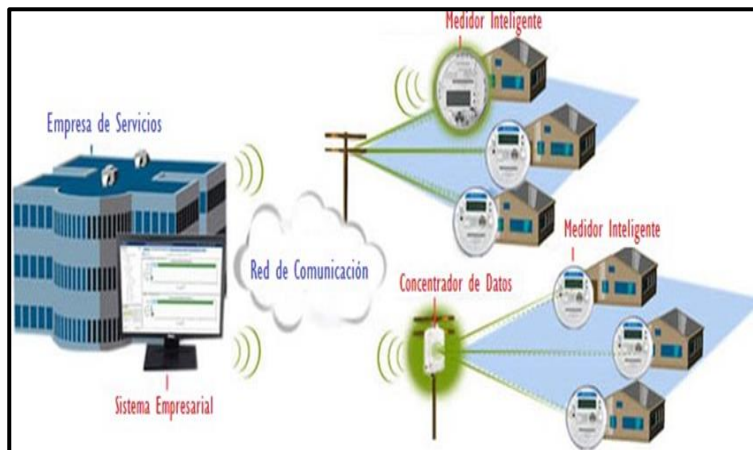


*Nota.* Es un medidor trifásico de medición indirecta marca Circutor. Adaptada de My Catalog Circutor (7 de octubre del 2020).

#### **b. Concentrador de Datos o Puerta de Enlace (Gateway)**

Es el dispositivo que se encarga de transmitir la información registrada en el medidor inteligente hacia una cabecera (head-end). En la figura 10 se muestra cómo se emplea el concentrador de datos para la adquisición de las mediciones obtenidas en los medidores avanzados.

El gateway generalmente se encuentra situado en las subestaciones o en los transformadores de distribución. Este dispositivo cuenta con una capacidad de almacenamiento superior y su función consiste en recopilar la información de un conjunto específico de medidores inteligentes. Posteriormente, se encarga de transmitir estos datos a través de una red (PLC, RF, GPRS) de comunicación hacia la empresa prestadora de servicios (Coronel, 2011, p 67).

**Figura 10***Empleo del concentrador de datos*

*Nota.* La imagen muestra la integración de ambas infraestructuras. Adaptada de “Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A”, (p.68), Coronel (2011).

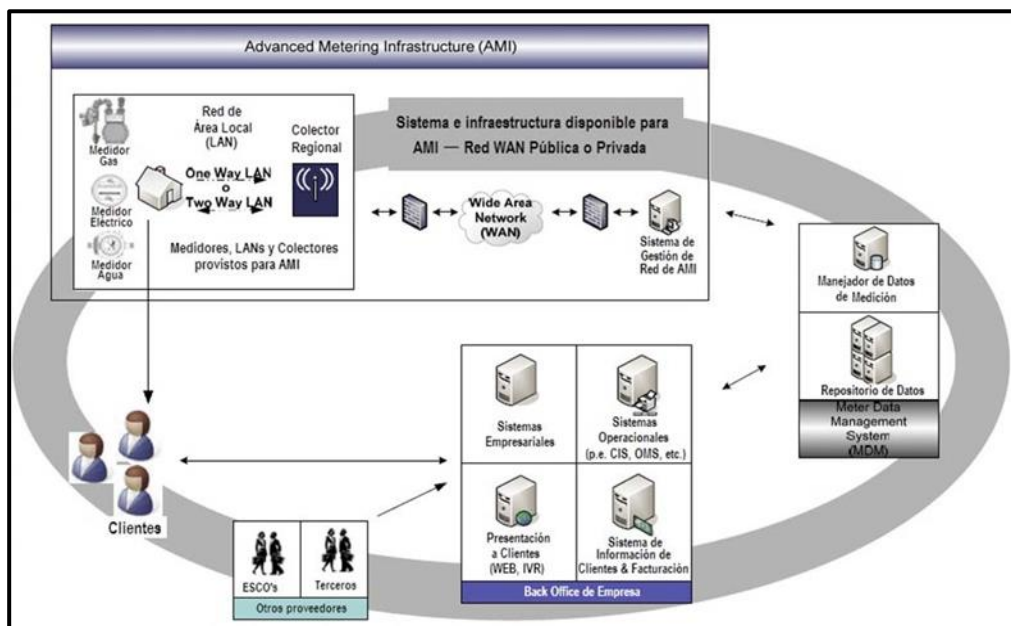
#### **2.2.2.6. Sistema de Gestión Empresarial (MDM)**

De acuerdo a Coronel (2011) es el sistema cuyo propósito primordial es posibilitar todas las capacidades del sistema AMI y permitir la incorporación de novedosas aplicaciones inteligentes tanto para la empresa prestadora de servicios y como para los usuarios. El Sistema de Gestión de Datos de Medición (MDM) juega un rol estratégico esencial en la materialización de un smart grid, dado que los datos de consumo energético poseen un valor informativo significativo. Para una planificación adecuada, es recomendable que el sistema MDM tenga una vida útil de aproximadamente 10 años. Su implementación debe estar sincronizada con la del sistema AMI (Infraestructura Avanzada de Medición) y debe realizarse al comienzo o cerca de él. De esta manera, se podrán establecer interfaces con otros aplicativos de manera oportuna y alcanzar una operación eficiente en las tareas del sistema AMI al manejar las considerables cantidades de datos provenientes de las mediciones. La figura 11 muestra la integración del sistema MDM.



**Figura 11**

*Unificación del Sistema de Gestión de Datos de Medición (MDM)*



*Nota.* Adaptada de “Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.”, (p. 81), Coronel (2011).

### 2.2.3. El Sistema Eléctrico de Potencia

La utilización de la energía eléctrica ha tenido un papel preponderante en el desarrollo de los estándares de vida en nuestra sociedad. Desde sus inicios, fue una tarea complicada transportar la energía desde sus fuentes generadores hasta los usuarios finales, debido a todas las etapas por las que pasan en las redes eléctricas, al cual se le denomina sistema eléctrico de potencia (SEP). Existen múltiples definiciones que caracterizan al sistema eléctrico de potencia, que provienen de prominentes entidades reguladoras internacionales (Coronel, 2011).

Según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), que describe un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) como 'una estructura compuesta por unidades generadoras de electricidad, líneas de transmisión eléctricas, junto con su equipo electromecánico, se interconectan a la red'.

#### 2.2.3.1. Generación eléctrica

Coronel (2011), lo refiere a las compañías productoras de electricidad, que pueden presentar diferentes categorías como, por ejemplo, plantas hidroeléctricas que dependen del flujo de agua, plantas térmicas que operan con combustibles fósiles y

plantas nucleares que emplean materiales fisibles y reacciones nucleares en reactores para generar calor destinado a un generador eléctrico. El propósito primordial de estas instalaciones generadoras es suministrar energía y capacidad a la población y a la industria. Históricamente, las plantas hidroeléctricas han sido las más comunes debido a sus ventajas predominantes. Las empresas en el sector de generación distribuyen su electricidad a través de acuerdos contractuales con sus clientes.

#### **2.2.3.2. Transmisión eléctrica**

Las líneas de transmisión eléctrica representan la conexión entre las plantas generadoras de energía con el sistema de distribución eléctrica. Estas líneas son responsables de transportar potencias eléctricas elevadas en las redes de alta y mediana tensión (MW). Es importante señalar que la energía se transmite modo unidireccional, es decir, desde la generación de energía hacia los usuarios finales."

El objetivo primordial de las líneas de transmisión es llevar la energía desde las ubicaciones remotas de las plantas generadoras hasta los centros de distribución de distribución o los lugares de consumo en grandes zonas urbanas o grandes ciudades. Este proceso implica recorrer largas distancias, a veces incluso a través de regiones o naciones. Debido a las propiedades inherentes del sistema de transmisión, resulta fundamental que esta acción sea realizada por una entidad única, bajo un esquema de monopolio. Esto se debe a que la naturaleza de esta actividad no es propicia para la competencia, considerando la necesidad de garantizar una operación fluida y eficiente (Coronel, 2011).

#### **2.2.3.3. Distribución eléctrica**

Durante la transmisión de energía eléctrica desde el generador al distribuidor, de acuerdo a Coronel (2011) se divide entre dos categorías de usuarios:

##### **a. Usuario sujeto a regulación**

Se refiere a aquel usuario cuyo servicio eléctrico está bajo regulación de tarifas, y cuyo umbral de potencia no exceda de los 200 kW. Este tipo de usuario solo puede celebrar contratos con la empresa distribuidora que opera en la zona de concesión donde se encuentra el suministro eléctrico. En el caso de Tacna tenemos a la empresa Electrosur.

##### **b. Usuario no regulado**

Se refiere a aquel cuyo requerimiento de energía eléctrica máxima anual puede

exceder los 2,5 MW. Estos usuarios tienen la libertad de negociar sus tarifas eléctricas y de establecer acuerdos directos con las empresas generadoras o distribuidoras de electricidad". Aquellos usuarios cuyo requerimiento máximo de energía anual se sitúe en el rango de 200 kW-2,5 MW, pueden optar entre ser usuarios regulados o no regulados. Las empresas de distribución son las encargadas de transportar la energía desde las subestaciones de distribución eléctrica hasta los usuarios finales, sean de la categoría regulada o la categoría no regulada. Vale mencionar que la distribución de energía se efectúa en las redes eléctricas de mediana y baja tensión, asegurando de manera constante tanto la calidad como la continuidad del suministro eléctrico. Dependiendo de las regulaciones y políticas de los entes reguladores de cada región o país (Osignermin en Perú), la distribución puede ser:

- Distribución desvinculada de la comercialización

Este enfoque implica que la empresa de distribución tiene la responsabilidad exclusiva de transportar la electricidad hasta los consumidores finales y no les factura directamente por este servicio. En lugar de eso, existen intermediarios comerciales (empresas prestadoras de servicios) que adquieren la electricidad de manera directa de los centros de generación eléctrica y posteriormente la comercialización a cualquier tipo de usuario. Estas empresas de servicios pagan una tarifa a las empresas de transmisión y distribución por arrendar su infraestructura eléctrica. La empresa de distribución posee su propia infraestructura y tiene la responsabilidad de planificar la ampliación y el mantenimiento de su red eléctrica"

- Distribución y comercialización

Bajo este modelo empresarial, aparte de transportar la energía hasta los lugares de consumo", la empresa de distribución se encarga de su comercialización. Esto implica comprar la energía a los generadores y venderla directamente a los clientes finales, cobrando por este servicio. Esta es la situación actual en nuestro país, donde una sola empresa se encarga tanto de la distribución como de la comercialización de energía.

#### **2.2.4. Operatividad del sistema eléctrico de potencia (SEP)**

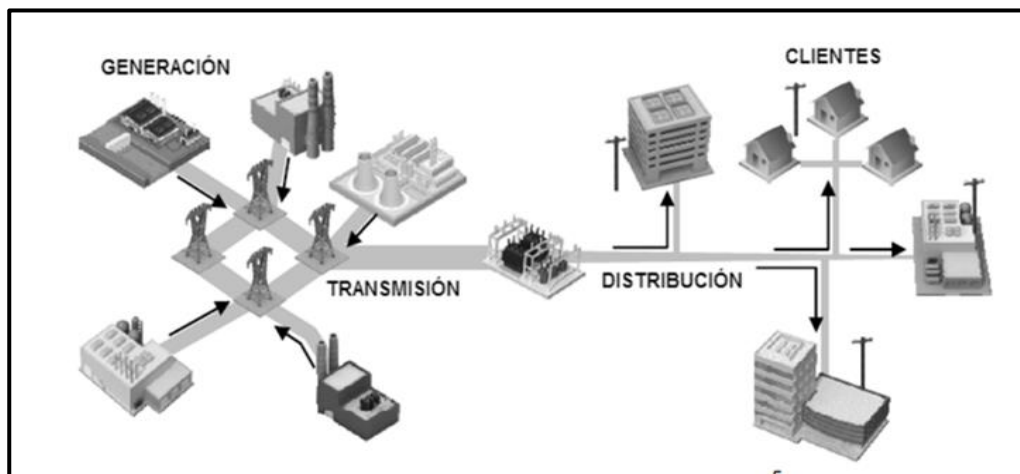
Considerando las características específicas de la por las que atraviesa el transporte de la energía eléctrica desde la generación hasta el usuario final, resulta esencial contar

con un operador supervise y coordine todos los aspectos del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP). Este operador del sistema se encarga de regular el transporte de energía y simplificar las operaciones, con el propósito de prevenir fallos en el sistema eléctrico como desbalances en las líneas de transmisión o desconexiones, así como de otros potenciales problemas que afecten la operatividad de la red. Es esencial que, en los SEP, exista una colaboración íntegra entre la función operativa y la función económica. Así, el operador del sistema se encarga de monitorear en todo momento la generación, transmisión y el consumo de energía eléctrica en una determinada zona, con el fin de prevenir emergencias. Junto a los gestores del sistema eléctrico, es imperativo contar con un organismo regulador que establezca normativas claras y detalladas para guiar todas las áreas del SEP, abarcando las necesidades de los usuarios. Se recomienda que este ente regulador del sistema se mantenga libre de la influencia de las empresas que operan en el sistema eléctrico de potencia (Alvarado, 2011).

En la figura 12, se puede observar la configuración actual de los SEP.

**Figura 12**

*Esquema de un SEP*

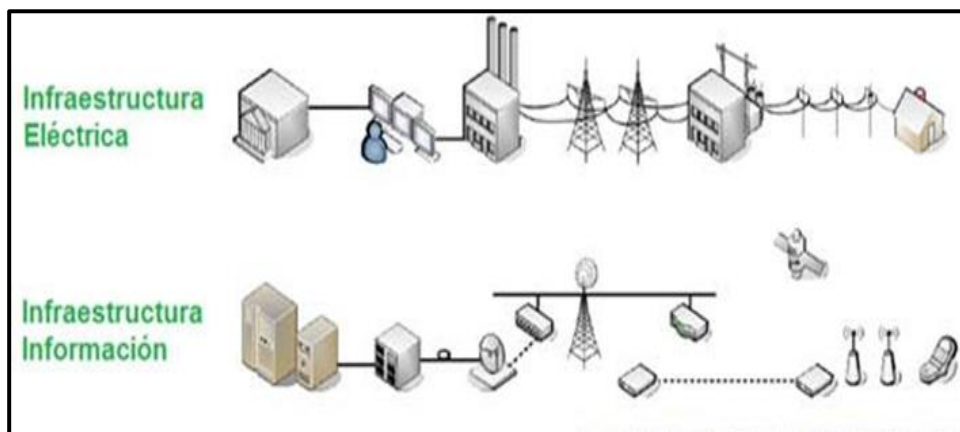


*Nota.* Adaptada de “Servicios de medición avanzada (AMI) para redes inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la legislación ecuatoriana”, (p. 23), Alvarado (2011).

Históricamente a lo largo del siglo XX, la infraestructura de los sistemas eléctricos y de telecomunicaciones han evolucionado independientemente, principalmente debido al notable avance de las telecomunicaciones en contraste con el desarrollo de los sistemas eléctricos, tal como se muestra en la figura 13.

**Figura 13**

*Infraestructura de las redes eléctricas y telecomunicaciones en el siglo XX*

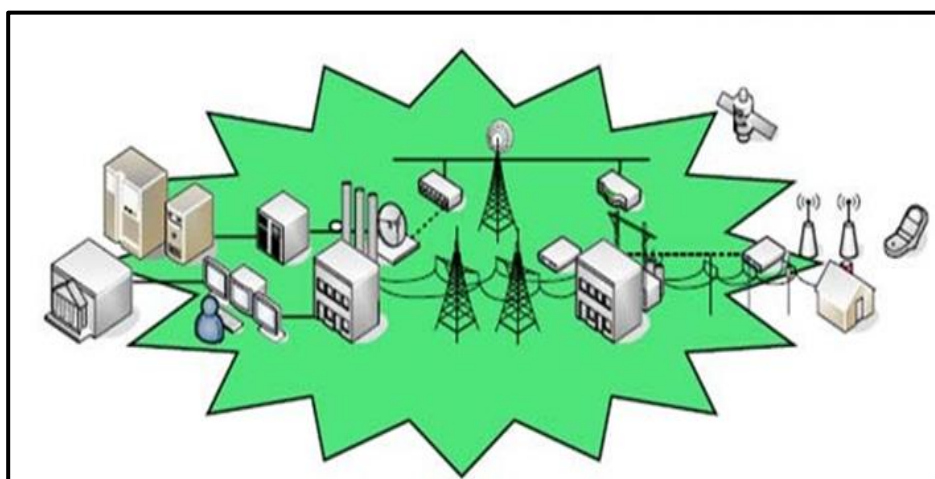


*Nota.* Adaptada de “Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.”, (p.12), Coronel (2011)

En el presente, se está adoptando una tendencia donde sistemas eléctricos de potencia (SEP) y las redes de telecomunicaciones se construyen utilizando una infraestructura física común, que incluye elementos como postes, torres y conductores. Esto puede verse reflejado en la figura 14. Esta dirección conlleva una mejora y una mayor eficiencia en la administración de estas redes.

**Figura 14**

*Integración de las redes eléctricas y de telecomunicaciones en la actualidad*



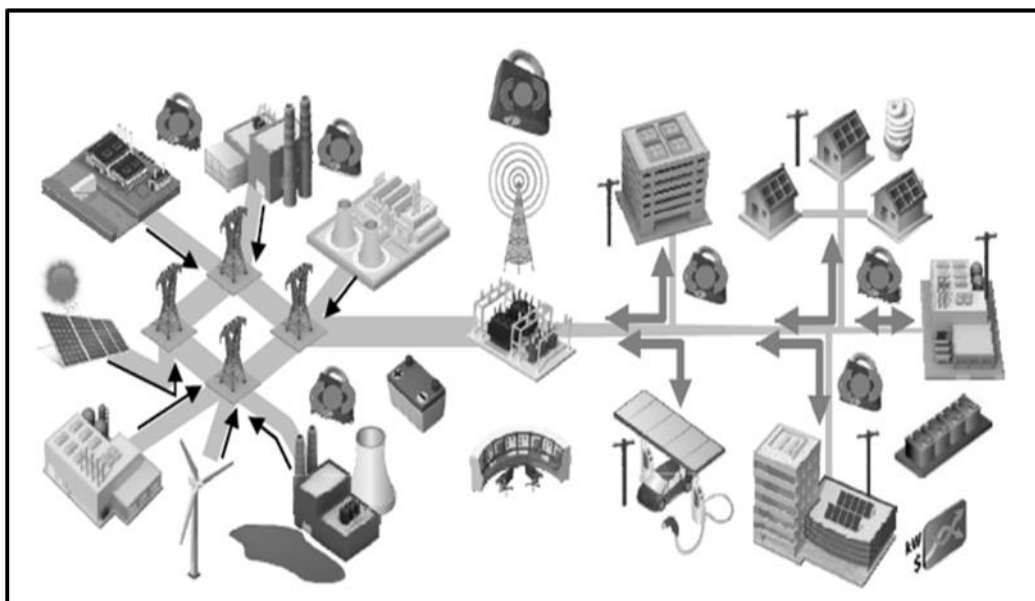
*Nota.* Adaptada de “Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.”, (p.12), Coronel (2011).

### 2.2.5. Las redes eléctricas inteligentes

Alvarado (2011) indica que una Smart Grid, internacionalmente reconocida como red inteligente, representa la convergencia de diversos sistemas inteligentes que operan en tiempo real para el monitoreo, medición, control y automatización del SEP, abarcando las etapas por las que atraviesa la energía eléctrica desde su generación hasta el usuario final, asegurando el seguimiento del transporte de energía eléctrica en la red. El empleo de esta tecnología innovadora permite la integración de los elementos eléctricos convencionales del SEP con los sistemas de comunicación, gracias a la infraestructura de telecomunicaciones a emplear. Las empresas prestadoras de servicios eléctricos ven a las redes inteligentes como una solución valiosa, ya que estos sistemas inteligentes proporcionan respuestas a diversos obstáculos en el sector eléctrico, tales como facturación indebida, fallos en el sistema, falta de gestión energética remota entre otras. En la figura 15 se representa el diseño de una red eléctrica inteligente, que permite la integración de todos los usuarios conectados a ella.

**Figura 15**

*Esquema de una red eléctrica inteligente (smart grid)*



*Nota.* Adaptada de “Servicios de medición avanzada (AMI) para redes inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la legislación ecuatoriana”, (p. 28), Alvarado (2011).

Una de las soluciones que ofrece el mercado en redes inteligentes es la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI). Esta solución tecnológica inicialmente busca establecer una comunicación “ida y vuelta” entre la empresa proveedora del

servicio eléctrico y los medidores inteligentes ubicados en las instalaciones de los usuarios. Su objetivo es intercambiar información valiosa de manera eficiente.

#### **2.2.5.1. Principio de Operación**

Debido al veloz progreso tecnológico experimentado en los últimos años, Coronel (2011) destaca que se ha vuelto factible anticipar y llevar a cabo la implementación de la red eléctrica inteligente. Esta nueva concepción de red incorpora principios de operación y características innovadoras, siendo los siguientes dos aspectos los más notables:

##### **a. Utilización de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC)**

Estas tecnologías engloban dispositivos y técnicas utilizados para la transmisión y administración de información, principalmente con la conjunción de las redes de telecomunicaciones, el acceso a internet y los sistemas informáticos. Actualmente, las TICs se han convertido en soluciones esenciales, ya que son fundamentales para llevar a cabo una amplia gama de actividades en la mayoría de las sociedades. Ejemplos de Tecnologías de Información incluyen telefonía fija, banda ancha, telefonía móvil, redes inalámbricas, computadoras. Las Tecnologías de la Información comprenden servicios de telefonía móvil, las redes de fibra óptica, las redes de banda ancha, los sistemas satelitales, los sistemas de radioenlaces digitales, las redes convergentes, las redes neuronales y de inteligencia artificial, Mediante estas tecnologías, se facilita el intercambio de mensajes, imágenes y sonidos con la finalidad de ofrecer servicios como el envío de emails, portales web, la búsqueda de información, el comercio en línea entre otros.

##### **b. Interoperabilidad**

Se refiere a la habilidad de dos o más elementos que interconectados, facilitan el intercambio de información de modo eficiente y sin limitaciones para el usuario, tales como dispositivos, equipos, redes, sistemas, o programas. Los sistemas comparten una comprensión mutua del intercambio de información y generan respuestas esperadas. La confiabilidad, autenticidad y seguridad entre múltiples sistemas inteligente, requieren una interoperabilidad de alto desempeño. Un alto nivel de interoperabilidad entre los elementos, constituye el principio básico de funcionamiento de una red inteligente que persigue realizar una telegestión energética eficiente.

### **2.2.5.2. Características de Funcionamiento**

Alvarado (2011) describe que la red inteligente abarca distintas cualidades inherentes que se vinculan con su operatividad, y estas especificidades determinan las tareas que debe llevar a cabo:

- a. Evita y responde mediante elecciones de sistemas, utilizando una confiabilidad predictiva que posibilita una restauración parcial e, incluso en ciertos casos, una auto-restauración.
- b. Favorece la implicación activa y el compromiso de los usuarios.
- c. Se adapta de forma flexible ante ataques y eventos naturales adversos.
- d. Opera con niveles de calidad de energía en su punto óptimo.
- e. Ofrece soporte para todas las fuentes de generación de electricidad y almacenamiento de energía. "Proporciona respaldo para todas las fuentes de generación eléctrica y el almacenamiento de energía.
- f. Posibilita la formación y el perfeccionamiento de los mercados energéticos, posibilitando la integración de nuevas aplicaciones y servicios.
- g. Funciona de manera eficaz y mejora la administración tanto de recursos recientes como de aquellos legados por las compañías prestadoras de servicios eléctricos.

### **2.2.5.3. Arquitectura establecida**

Una arquitectura claramente establecida posibilita la implementación de técnicas y alternativas de administración que se pueden emplear para guiar las operaciones en curso. En ese sentido, Coronel (2011) destaca que es una ayuda en la toma de decisiones relacionadas con modificaciones funcionales en el sistema. Además, una arquitectura establecida se emplea como una herramienta de mucha utilidad para la comprensión del sistema a desarrollar, tanto para sus creadores como a los usuarios. Y las estructuras que constituyen la Red Eléctrica Inteligente deben estar bien desarrolladas y definidas con mucha precisión, haciendo hincapié en las siguientes características:

- a. Deben ser sistemas abiertos, es decir tener la capacidad de abarcar una diversidad de tecnologías presentes y futuras, demostrar flexibilidad para adecuarse a los cambios.
- b. Las interfases empleadas deben estar adecuadamente configuradas a fin

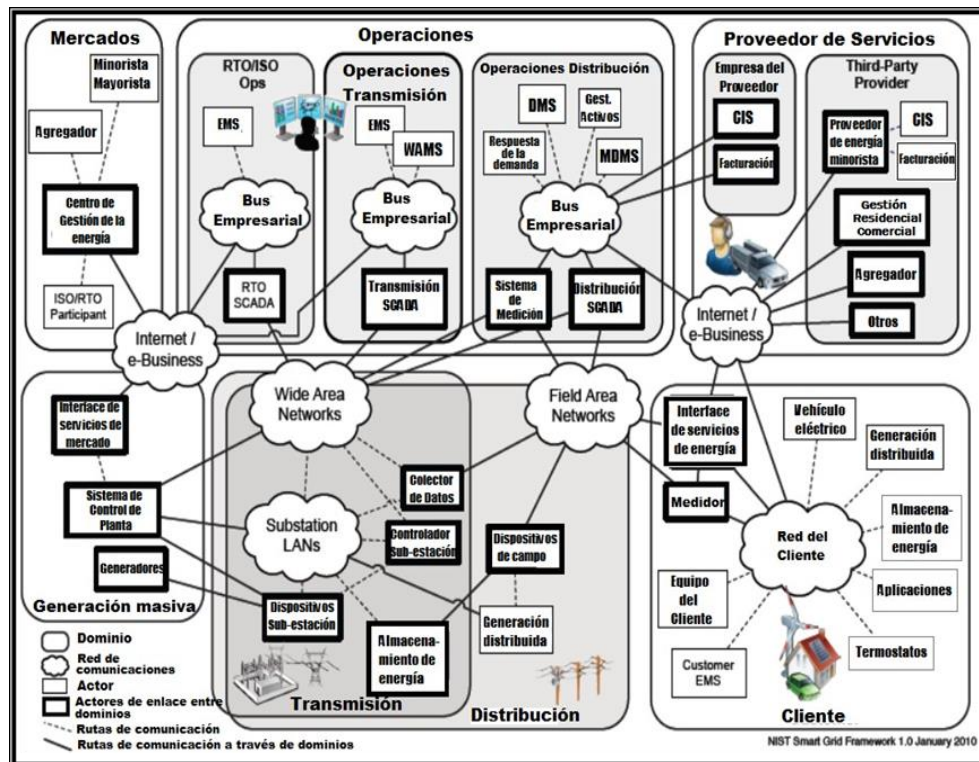


de garantizar la operatividad de los sistemas, otorgándoles altos niveles de seguridad.

- c. Para el modelamiento de los sistemas se requieren herramientas informáticas vigentes en el mercado, los cuales posibilitarán una tele-gestión energética remota.
- d. Los componentes que conforman la estructura deben ser capaces de gestionar una variedad de aplicaciones, permitiendo su expansión a gran escala y teniendo previsiones de vida útil que varíen entre 5 y 30 años.
- e. Debe fundamentarse en una arquitectura empresarial comprobada, respaldada por software y enfoques de diseño de sistemas. Ver figura 16.

**Figura 16**

*Diagrama de los sistemas de información en una Smart grid*



*Nota.* Adaptada de “Servicios de medición avanzada (AMI) para redes inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la legislación ecuatoriana”, (p. 44), Alvarado. (2011).

## 2.2.6. Normativa sobre la energía eléctrica en el Perú

El flujo de la energía eléctrica que utilizamos en nuestro país de acuerdo a Osinegim (2021), atraviesa por tres etapas consecutivas: la generación de energía eléctrica, la transmisión de energía eléctrica y la distribución de energía eléctrica.

### **2.2.6.1. La generación eléctrica**

La generación eléctrica está relacionada con la producción de energía eléctrica a través de centrales generadoras de electricidad con fuentes de energías renovables o no renovables. En nuestro país, aproximadamente el 56 % de la electricidad es generado por centrales hidroeléctricas, mientras que el 44 % restante es generada por las centrales térmicas, que en su mayoría emplean gas natural y, en menor medida, por carbón y combustible Diesel B5. El Perú al año 2021 contaba con 29 centrales eléctricas, con una capacidad total instalada de 6. 7 MW, siendo las principales empresas de generación Edegel (con 1 474,2 MW), Enersur (con 1 034,2 MW) y Electroperú (con 964,5 MW)

### **2.2.6.2. La transmisión eléctrica**

La transmisión eléctrica involucra el uso de infraestructura eléctrica de Alta Tensión para el transporte de energía (66 kilovoltios kV, 220 kV, etc.) desde las plantas generadoras hasta las subestaciones de transformación de las compañías encargadas de la distribución eléctrica. El sistema de transmisión se compone de una combinación de líneas eléctricas (conductores), torres y subestaciones, en las cuales se encuentran transformadores de potencia que permiten regular el nivel de la tensión de acuerdo a las necesidades de los usuarios del sistema. En el territorio peruano, alrededor de diez compañías se dedican a la transmisión de energía eléctrica, y en conjunto administran cerca de 2,263 km de líneas de transmisión. Entre las principales empresas en este sector se encuentran Abengoa, Tran Mantaro y Red de Energías del Perú (REP).

### **2.2.6.3. La distribución eléctrica**

La distribución eléctrica es llevada a cabo por las empresas distribuidoras, cuya responsabilidad radica en transportar la energía eléctrica provenientes de los centros de generación y llevarla hasta el usuario final, con el objetivo de garantizar un abastecimiento fiable. Las redes de distribución emplean las líneas de transmisión de media tensión (10 kV) y de baja tensión (440 V, 220 V), a través de los cuales se transporta la electricidad desde las subestaciones hacia las residencias, negocios e industrias. Las compañías de distribución eléctrica se encargan del mantenimiento periódico de las redes eléctricas y la lectura de los dispositivos de medición, la facturación y la recaudación de pago del servicio. Posteriormente, distribuyen los recursos asignados a las empresas de generación y transmisión eléctrica. En nuestro país, existen aproximadamente diez empresas dedicadas a la distribución eléctrica, siendo las más destacadas Electrosur, Electronorte y Electrodunas.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Calidad de energía eléctrica**

Se vincula con las interferencias electromagnéticas que pueden influir en las características eléctricas de un suministro eléctrico, como la tensión, la corriente y la potencia eléctrica, afectando la operatividad de la red eléctrica y de los dispositivos que operan (Mamani, 2018).

### **2.3.2. Equipo eléctrico**

Este término abarca elementos, dispositivos, instrumentos, maquinaria, materiales, entre otros, que se emplean como componentes en las diferentes etapas que atraviesa la señal eléctrica por el sistema eléctrico de potencia (SEP). Esta definición es aplicable de manera amplia y engloba cualquier conjunto o unión de materiales o elementos que puedan ser utilizados o adaptados con el fin de cumplir o llevar a cabo una función o propósito específico, cuando se incorporan en una instalación eléctrica (Mamani, 2018).

### **2.3.3. Medidor inteligente**

Dispositivo ubicado en la etapa final de la red que facilita el establecimiento de una conexión con el usuario, posibilitando la transferencia de datos de las mediciones realizadas con en el medidor inteligente a través de una red de comunicación de doble dirección. A través del sistema de medición avanzada (AMI), se presenta la posibilidad para los usuarios finales de tomar decisiones informadas en relación a su consumo, dado que por primera vez tienen acceso a información en tiempo real sobre los precios y su propio consumo (Coronel, 2011).

### **2.3.4. Plataforma smart grid**

Representa la estructura y las tecnologías que contribuyen a conferir una alta capacidad de procesamiento a la red y lograr un funcionamiento óptimo, lo que posibilita la funcionalidad y la escalabilidad de las aplicaciones. Los esfuerzos destinados a facilitar la compatibilidad entre los distintos elementos involucrados en la Red Inteligente, requieren la atención de aspectos que demandan una cooperación significativa y que abarcan tanto las aplicaciones actuales como las futuras (Coronel, 2011).

## **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Diseño de la investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación empleada en mi investigación fue de una investigación aplicada, dado que se tomó en cuenta los conocimientos de las Ciencias de Ingeniería a fin de aplicarlos en un sistema de medición eléctrica avanzada (AMI) .

#### **3.1.2. Nivel de la Investigación**

La presente investigación adopta un enfoque descriptivo, ya que se enfoca en la presentación exhaustiva de los resultados del estudio. Este enfoque se emplea con el fin de comunicar los objetivos y los hallazgos obtenidos a través de la investigación.

En términos del enfoque descriptivo, se evaluaron las ventajas y cualidades ofrecidas por la opción más adecuada que se basa en sistemas de Infraestructura de Medición Avanzada para el suministro eléctrico de ElectroSur. Esto se logró al formular propuestas claramente definidas para alcanzar los objetivos establecidos en la tesis.

Se ha utilizado la literatura de referencia, estándares, catálogos, tablas y diagramas disponibles para llevar a cabo la elaboración de este análisis sobre el sistema de gestión de medición.

### **3.2. Población y/o muestra del estudio**

#### **3.2.1. Muestra de estudio**

La unidad de estudio seleccionada para esta investigación, trata de un sistema de gestión de medición (AMI) que utiliza la tecnología de Comunicación por Línea de Potencia (PLC), con la Subestación Eléctrica Parque Industrial en la ciudad de Tacna durante el año 2022.

### **3.3. Operacionalización de variables**

En la Tabla 1 se presenta la conceptualización operativa de las variables en nuestro proyecto de investigación, abordando una variable de estudio.

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

<b>Variable de estudio</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>
Un sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC) integrada a la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna.	Tecnología PLC-NB	Nivel de tensión de línea trifásica Tasa de transmisión utilizando PLC	Voltios bit/seg

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas de recolección de los datos**

En el marco de esta investigación, se utilizó el siguiente método para recopilar los datos necesarios:

##### **3.4.1.1. Técnica de análisis documental**

se utilizó la información que se encuentra en los documentos emitidos por la empresa Electrosur S.A., sobre las subestaciones de distribución de potencia y redes de distribución eléctrica que se encuentran en la ciudad de Tacna.

Se utilizó la información de subestaciones de transformación eléctrica distribuidas en nuestro país, las cuales se encuentran en el Atlas de Minería del Ministerio de Energía y Minas (2001).

Así mismo, se utilizó la información suministrada de OSINERGMIN (2020) sobre “Diagramas unifilares de los sistemas de distribución en el Perú” donde se utilizó la información referencia a la red de distribución eléctrica de Tacna.

#### **3.4.2. Instrumentos para la recolección de los datos**

Se emplearon como fuentes secundarias:

- a. Información especializada de las tesis de título que se encuentran en los repositorios nacionales e internacionales sobre sistemas eléctricos

inteligentes (Smart Grid), sistemas AMI y tecnología Power Line Communications (PLC).

- b. Catálogos y Manuales que contienen especificaciones técnicas de los componentes del sistema AMI propuesto, tales como medidores inteligentes, concentrador de datos o gateway y herramientas informáticas de tele-gestión energética.
- c. Direcciones web, mediante este instrumento se tuvo acceso a las direcciones URL de los estándares IEC 61334-5, referidas a la Normativa para modulación por PLC. Así se acceso a la normatividad que describe el estándar ANSI/IEEE C 12.10-2004 que se refiere a los aspectos físicos de medidores electrónicos.

### **3.5. Procesamiento y análisis de datos**

#### **3.5.1. Metodología empleada**

La metodología de investigación empleada en este Proyecto fue de carácter descriptivo.

La metodología empleada en este trabajo de investigación, consistió en desarrollar las siguientes etapas:

##### **a. Primera etapa**

Este proceso involucró la búsqueda en fuentes bibliográficas para comprender las definiciones y operación del sistema eléctrico industrial en el país, así como de la infraestructura de medición avanzada (AMI). Además, se examinó la disposición y operatividad de la red eléctrica en el Parque Industrial de Tacna, junto con la identificación de las necesidades tanto del sector industrial como de la empresa proveedora de energía para esta área (ELECTROSUR).

##### **b. Segunda etapa**

Durante la fase analítica, se evaluó la capacidad de respuesta del sistema AMI ante las demandas del sector industrial en la ciudad de Tacna, específicamente en el Parque Industrial. Se procedió a identificar la infraestructura eléctrica en esta área de estudio de la investigación.

### **c. Tercera etapa**

La etapa propositiva abarcó la creación de un esquema en forma de diagrama de bloques para representar el diseño del sistema de Medición Avanzada (AMI) destinado al Parque industrial en la ciudad de Tacna. En esta etapa, se estableció el tipo de tecnología que se empleará en la propuesta del sistema AMI, incluyendo medidores inteligentes, colectores y el sistema de gestión. Se realizó la elección de la red de acceso que conectará los medidores inteligentes con el gateway, así como la red de transporte que enlazará los gateway con el sistema de tele-gestión energética.

### **3.6. Diseño de la investigación**

En la presente tesis se emplea el diseño documental, debido a que la información que es requerida para la propuesta del sistema AMI se obtuvo a partir de documentos técnicos, datos estadísticos de la zona de estudio y recomendaciones internacionales que regulan los sistemas AMI.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Propuesta del sistema AMI para el Parque Industrial de Tacna

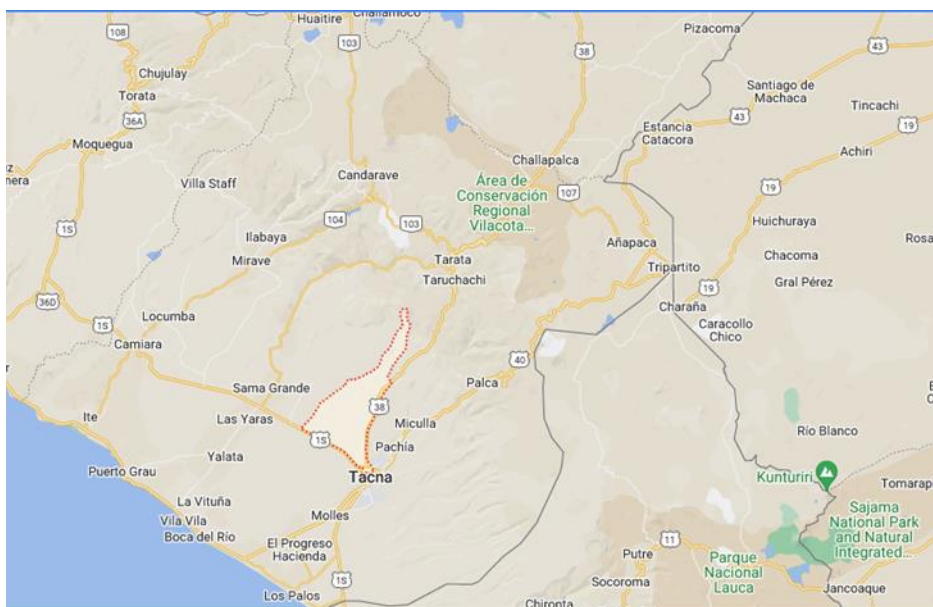
#### 4.1.1. Descripción de la zona de estudio

El Distrito de Alto de la Alianza constituye uno de los seis distritos pertenecientes a la ciudad de Tacna, distrito donde se encuentra el Parque Industrial.

En la figura 17 se presenta la posición geográfica del distrito de Ciudad Nueva en la región Tacna.

**Figura 17**

*Posición geográfica del distrito de Ciudad Nueva en el mapa*



*Nota.* El contorno del área geográfica del distrito de Ciudad Nueva está marcado con color rojo. Adaptada de Mapas de Perú, Tacna, distrito de Ciudad Nueva, DePeru.com.

#### 4.1.2. Sub-estación eléctrica Parque Industrial de Tacna

La Subestación de Transformación Parque Industrial constituye una componente de la red de distribución eléctrica operada por la empresa Electrosur en la ciudad de Tacna y está integrada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

La Subestación de Transformación Parque Industrial de la ciudad de Tacna, recibe suministro de energía eléctrica desde la Subestación de Transformación Tacna

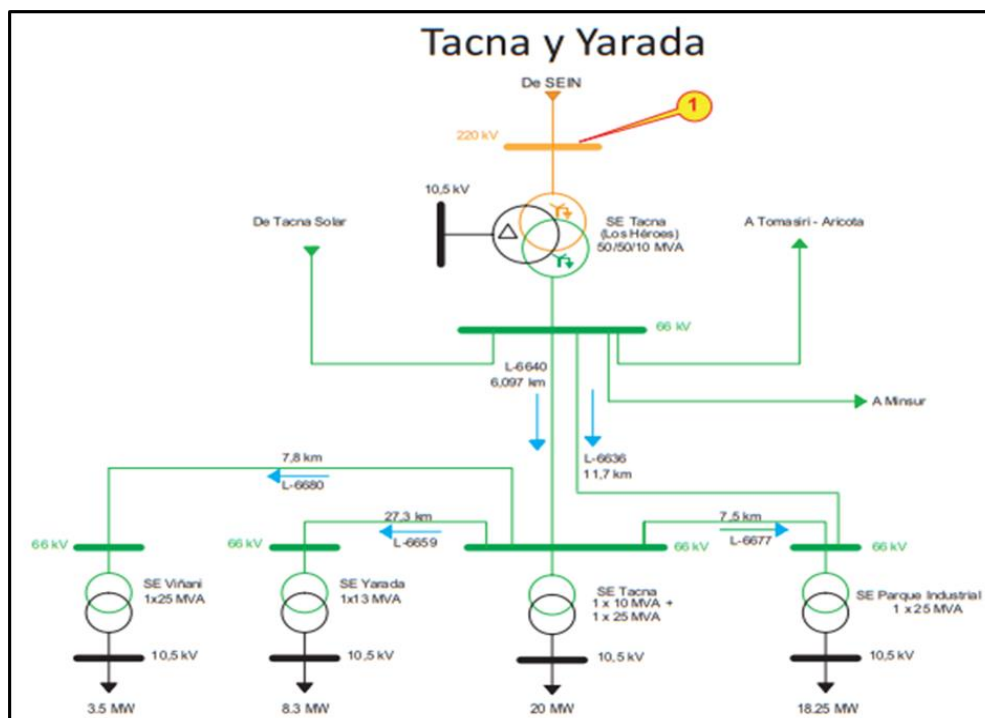


a través de una línea de transmisión de media tensión de 66 kV que tiene una longitud de 7,5 km, siendo la línea de media tensión transformada de 66 kV a 10,5 kV.

La figura 18 muestra el diagrama unifilar de la Sub-Estación Parque Industrial en la ciudad de Tacna.

**Figura 18**

*Sub-Estación Parque Industrial*



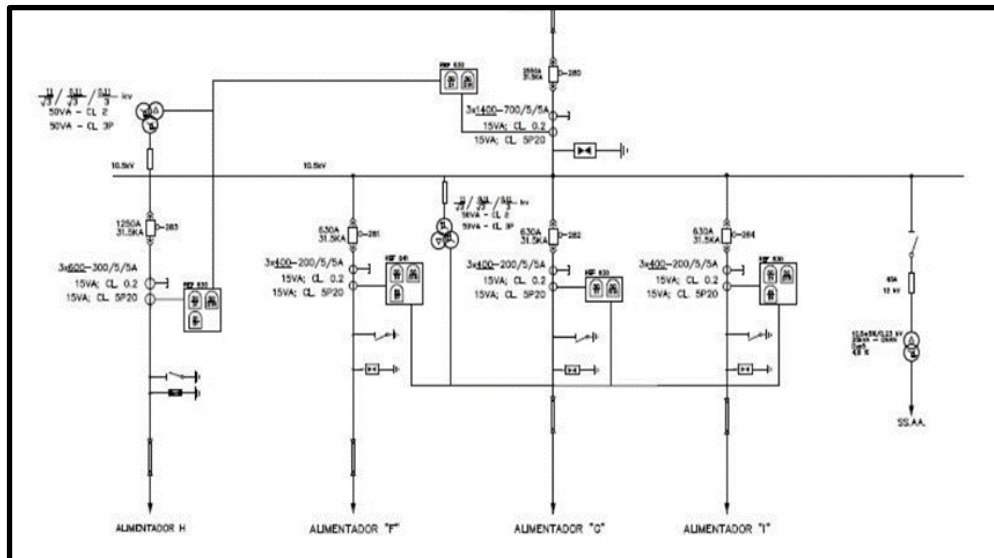
*Nota.* Imagen muestra las 4 subestaciones de transformación dentro de la ciudad de Tacna. Adaptada de "Diagramas unifilares de las instalaciones de transmisión secundaria de los sistemas de distribución", (p.156), OSINERGMIN (2020).

La subestación de transformación Parque Industrial distribuye energía mediante la red de distribución eléctrica de la ciudad de Tacna, utilizando cuatro (04) líneas alimentadores F, G, H e I; es relevante notar que la línea F está principalmente destinada a la carga industrial que comprende a los usuarios instalados en zona de estudio; el suministro de energía eléctrica se produce a través de un transformador de potencia del fabricante DELCROSA con una potencia aparente de 20/25 MVA y cuenta con regulación automática.

La figura 19 muestra la distribución de las ternas de la subestación de Transformación Parque Industrial.

**Figura 19**

*Diagrama de la subestación eléctrica de Transformación Parque Industrial*



*Nota.* Adaptada de Automatización e Integración al sistema SCADA de subestaciones de potencia y redes de distribución en ELECTROSUR S.A, (p.76), López, G. (2015).

La subestación Parque Industrial tiene como dirección física las Manzanas "F" y "G" del Parque Industrial, en el distrito de Ciudad Nueva, dentro de la ciudad de Tacna. La figura 20 muestra la ubicación de la subestación en la ciudad de Tacna.

**Figura 20**

*Ubicación física de la sub-Estación de Transformación Parque Industrial*



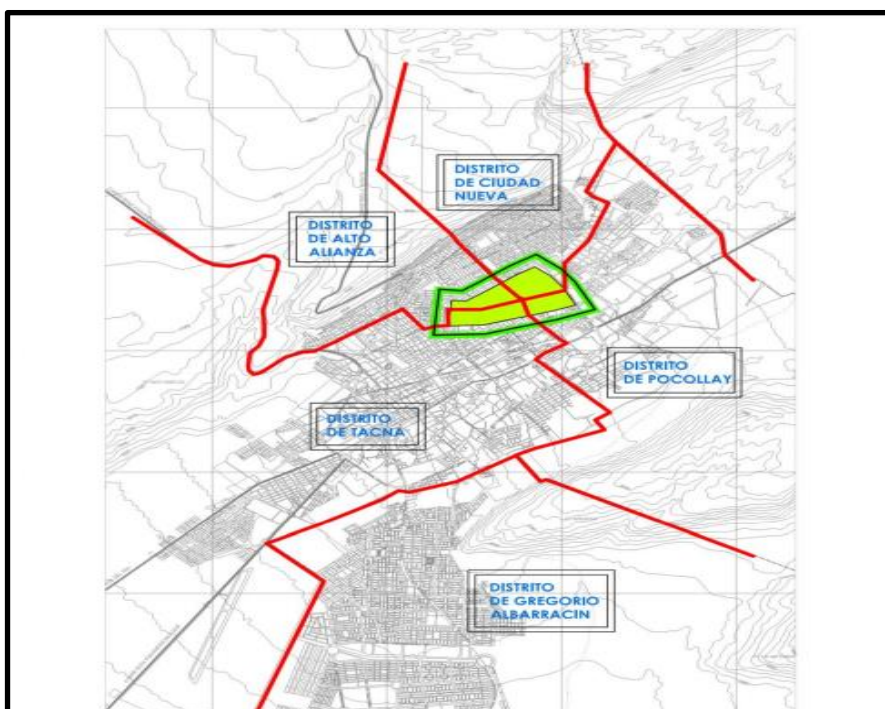
*Nota.* Imagen satelital adaptada; generada utilizando el software Google Earth PRO (2023).

#### 4.1.3. Ubicación de la zona de estudio

La ubicación de la zona de estudio que comprende el Parque Industrial, se encuentra dentro del casco urbano de la ciudad de Tacna. Ocupa una superficie de alrededor de 111 Ha y está geográficamente compartido por los distritos Ciudad Nueva y Alto de la Alianza en la zona auxiliar, y distritos de Cercado y Pocollay en la zona principal. Ver figura 21.

**Figura 21**

*Ubicación de la zona de estudio*



*Nota.* Adaptada de “Parque industrial: Un proyecto de regeneración urbana”, (p. 102), Huanchi, N. y Palza, L. (2012).

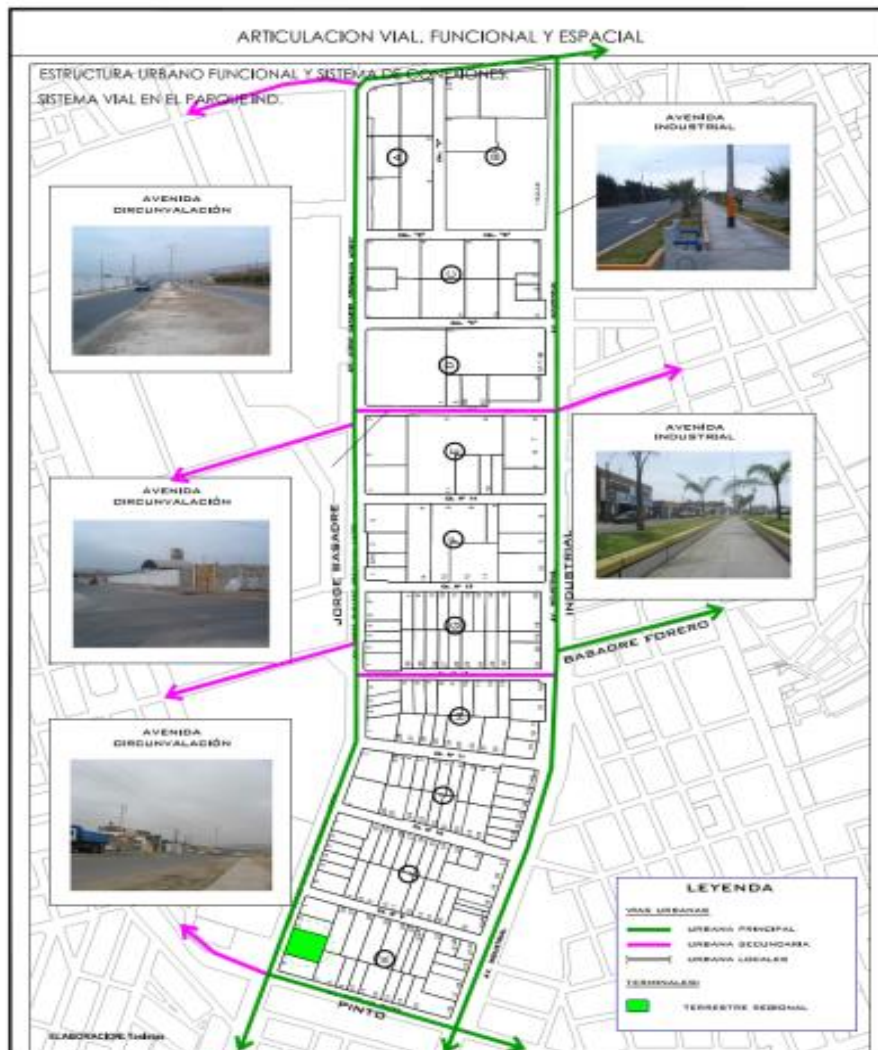
. Además, su ubicación geográfica estratégica lo beneficia al mantener una distancia cercana con diversos mercados claves en Sudamérica.

Además de ser Tacna una región con dos fronteras, se le considera como un punto de encuentro natural entre el Perú, Bolivia, Chile y el Océano Pacífico. La figura 20 muestra la ubicación de la zona de estudio dentro de la ciudad de Tacna. Aparte de ser una región con dos fronteras, Tacna es reconocida como un punto de confluencia natural entre el Perú, Bolivia y Chile.

La figura 22 muestra las vías de acceso al Parque Industrial ubicado en la ciudad de Tacna.

**Figura 22**

*Vías de acceso al Parque Industrial*



*Nota.* Adaptada de “Parque industrial: Un proyecto de regeneración urbana”, (p. 148), Huanchi, N. y Palza, L. (2012)

La distribución de las zonas según el tipo de actividad dentro del Parque Industrial de Tacna, fueron definidos como:

- Zona comercial.
- Zona industrial
- Zona de diversión nocturna
- Zona residencial.

La distribución de las áreas en el Parque Industrial de región Tacna, clasificadas por tipo de actividad, se presenta en la figura 23.

Figura 23

Ubicación de las Áreas según el tipo de actividad.



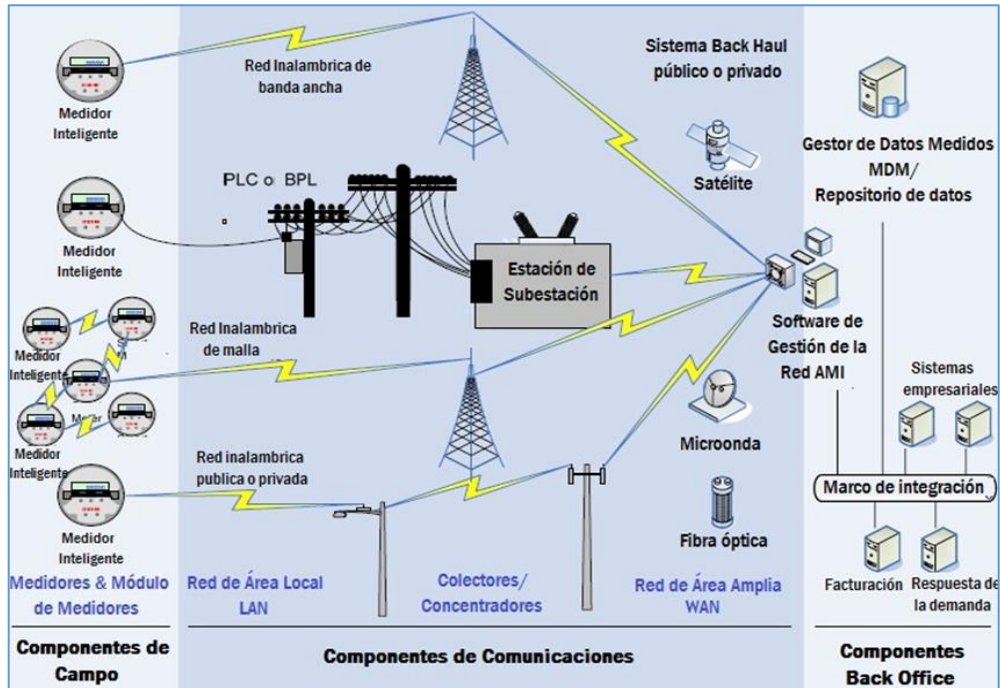
Nota. Adaptada de "Parque industrial: Un proyecto de regeneración urbana", (p. 146), Huanchi, N. y Palza, L. (2012).

#### 4.2. Infraestructura del sistema AMI

Los elementos principales de la infraestructura del sistema de Medición Inteligente AMI se dividen en tres componentes primarios, tal como se ilustra en la figura 24. Componente de campo, comunicaciones y de gestión empresarial

**Figura 24**

*Infraestructura de un sistema AMI Estructura de un sistema AMI*



*Nota.* Adaptada de “Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional CENTRO SUR C.A”, (p. 64), Coronel, M. (2011).

#### 4.2.1. Componentes de campo

Está compuesto por los siguientes dispositivos, los cuales serán elegidos de acuerdo al tipo de usuario que usarán la red inteligente AMI:

- Smart Meter (medidor inteligente), también conocido como contador inteligente, opera como la conexión entre el usuario y el sistema de gestión empresarial. Estos componentes de campo registran los perfiles de carga contratada por los usuarios, y los consumos de energía de la red eléctrica, enviando toda la data obtenida a través una red de telecomunicaciones hacia el concentrador de datos, transmitiendo esta información al menos una vez al día a través de la red de telecomunicaciones hacia el centro de control de la compañía proveedora de servicios, con el fin de llevar a cabo la facturación y la supervisión del servicio. Todos la data recolectada de los medidores, se reciben en el gateway. Además, mediante el uso del medidor inteligente, el usuario puede supervisar su consumo de electricidad suministrada por la compañía proveedora y tener un mejor control sobre su gasto energético.

- b. Gateway (también conocido como concentrador de datos o punto de entrada), funciona como un receptor de la data transmitida por el medidor inteligente, cuya capacidad de almacenamiento está en función del dimensionamiento de la cantidad de medidores inteligentes a manejar. Recepciona y procesa la data transmitida por los medidores inteligentes y posteriormente la transmite a través de la red de telecomunicaciones hacia la compañía prestadora de servicios, donde se encuentra alojado la componente de gestión empresarial. Los protocolos de comunicación que facilita la interconexión entre los medidores inteligentes y los concentradores de datos (gateways) emplean la tecnología PLC (Power Line Communication). El Gateway se sitúa en las subestaciones y/o transformadores de distribución eléctrica.

#### **4.2.2. Componente de comunicaciones**

La estructura de comunicación en el sistema de medición AMI puede incorporar diversos medios y tecnologías para la transferencia de información. Por medio de la red de telecomunicaciones se realiza una interoperabilidad eficiente entre el concentrador de datos (gateway) y el componente de gestión empresarial. La infraestructura de telecomunicaciones que emplea el sistema AMI puede comprender el empleo de redes inalámbricas de banda ancha, microondas, tecnología PLC y fibra óptica, e incluso sistemas híbridos, entre otras opciones.

#### **4.2.3. Componente de gestión empresarial**

El sistema de gestión empresarial (MDMS) lleva a cabo el procesamiento de toda la información que se recibe utilizando herramientas informáticas de tele-gestión energética. Los programas informáticos empleados en el sistema MDMS, monitorean y procesan la información transmitida por los dispositivos en campo, que están asociados con lectura de los consumos de energía eléctrica registrados con la finalidad de generar la facturación automática, así como la realización remota de acciones como el corte y la restitución del servicio.

#### **4.3. Propuesta del sistema AMI para el Parque Industrial de Tacna**

El sistema AMI propuesto para nuestro proyecto se compone de equipamiento electrónico y de telecomunicaciones, medios de transmisión y por un sistema de tele-

gestión empresarial, basado en herramientas informáticas que faciliten el acceso a la información en línea del sistema de tele-gestión energética.

La finalidad principal de la propuesta del sistema AMI es mejorar la eficiencia energética y asegurar la confiabilidad del servicio de tele-gestión energética de la empresa comercializadora de energía eléctrica en Tacna, en nuestro caso ELECTROSUR.

El sistema de medición eléctrica AMI propuesto en la tesis presenta las siguientes características:

- Empleo de la tecnología de comunicación a través de líneas eléctricas de potencia (PLC) para su interconexión y transferencia de información a través de la red de distribución eléctrica.
- Los medidores inteligentes deben recopilar datos de manera horaria o en intervalos más frecuentes que los mensuales.
- Empleo de un sistema de telecomunicaciones en ambas direcciones (bi-direccional), que interconecte los medidores inteligentes con la empresa prestadora de servicios, con la finalidad de transmitir el consumo de energía eléctrica de los usuarios, controlar la carga eléctrica, actualización de softwares y firmwares desde la empresa prestadora de servicios hasta los usuarios.
- Se propone un sistema de gestión empresarial (MDMS por sus siglas en inglés, Meter Data Management System) que sea capaz de administrar grandes volúmenes significativos de información correspondiente a cada usuario.
- Pantalla LCD o visualizador fuera del medidor inteligente, que permita mostrar la información del consumo de energía eléctrica de cada usuario, ya sea residencial, industrial o comercial.



#### **4.3.1. Smart Meter (medidor inteligente)**

El contador inteligente deberá tener entre sus principales funciones la de medición y registro de la energía eléctrica consumida por el usuario.

La comunicación y conexión-desconexión remota mediante un sistema de comunicación PLC.

Fundamentados en las especificaciones técnicas detalladas para los medidores electrónicos, los requisitos que deben ser satisfechos por los medidores inteligentes para los usuarios de la zona del Parque Industrial, son los siguientes:

- Medida de energía activa trifásica de modo directa e indirecta
- Medición de energía eléctrica reactiva
- Temporizador en tiempo real
- Control de carga externa
- Cargar perfil del usuario (industrial, comercial, residencial)
- Batería reemplazable
- Notificación de alarma ante la presencia de fallas en el sistema.
- Configurado de fabrica para el sistema la medición avanzada AMI
- Actualización de firmware de modo remoto
- Pantalla LCD, que permita la lectura sin energía eléctrica

#### **4.3.2. Gateway (también conocido como concentrador de datos)**

Es un dispositivo electrónico con gran capacidad de almacenamiento, encargado de recolectar información proveniente de los medidores inteligentes y retransmitirlos hacia el centro de control del sistema de tele-gestión eléctrica.

Dentro del proyecto, los medidores inteligentes establecen comunicación con los concentradores de datos mediante la tecnología de comunicación por línea de potencia (Power Line Communication, PLC).

##### **4.3.2.1. Características de operación**

El concentrador de datos (gateway) propuesta tiene las siguientes características:

- a. Necesitan ser completamente independientes en su capacidad de comunicación con el centro de control que aprovisiona los datos en la empresa de servicio. Si hay una falta de comunicación hacia los servidores, los medidores deben operar de manera regular hasta que la comunicación se reestablezca.
- b. Es necesario que cuenten con sistemas de alarma para detectar intrusiones y medidas de seguridad para prevenir actos de vandalismo.
- c. Se requiere la presencia de un sistema de energía eléctrica de respaldo (backup) y también un sistema de alarma para notificar en caso de falta de suministro eléctrico.
- d. Deberán contar con dispositivos electrónicos de almacenamiento (memoria) necesaria para guardar todos los datos esenciales provenientes de la red PLC. Esto asegura que en situaciones donde la comunicación falle, los datos cruciales puedan almacenarse en el concentrador sin sufrir pérdida.
- e. Necesitan tener la capacidad de operar con las fluctuaciones de voltaje inherentes a una red eléctrica industrial.
- f. Necesitan tener la capacidad de crear registros de datos de la red PLC, los cuales permitan examinar las vías de comunicación entre los nodos y así poder evaluar la calidad de comunicación de todos los componentes de la red de comunicaciones.

#### **4.3.2.2. Características del concentrador de datos propuesto**

- a. El concentrador de datos (gateway) se acondicionará en la misma subestación eléctrica de transformación y se conecta al devanado del sistema trifásico de baja tensión. Esto permitirá la tele-gestión los contadores inteligentes de modo remoto a través de comunicaciones PLC, que utilizan el protocolo estandarizado PRIME.
- b. Mediante el sistema de comunicación PLC-NB se obtendrá toda la información registrada por los contadores inteligentes. Esta información comprende los perfiles de carga eléctrica contratada, informes o resúmenes diarios o mensuales de consumo de energía de cada usuario.
- c. El concentrador permitirá la gestión del contador inteligente trifásico ya sea actualizando la tarifa eléctrica o actuando sobre el elemento de corte,

programándole una nueva potencia contratada por los usuarios o cortando el suministro eléctrico en caso de falta de pago.

- d. Los concentradores deberán incorporar un dispositivo electrónico de medición que sea el encargado de supervisar toda la red de distribución eléctrica. Esta característica de supervisión de la red de distribución, proporcionará información de su operatividad a la empresa prestadora. Esta capacidad de monitorear la red de distribución eléctrica permitirá a la empresa proveedora de servicios obtener información sobre su funcionamiento, facilitando el control y monitorización de la red de Baja Tensión (BT).

#### **4.3.3. Red de telecomunicaciones**

La tecnología PLC (Power Line Communication) fue seleccionada para como soporte de comunicaciones en la red de distribución eléctrica.

El PLC emplea sistema TWACS (Two Way Automated Communications System) para el acceso a los medidores inteligentes desde la estación remota situada en la estación central de control y monitoreo que tiene la empresa proveedora de servicios acondiciona en las oficinas administrativas.

Criterios utilizados para seleccionar la tecnología PLC sobre sistema RF

Utilizar un sistema Power Line Communication (PLC) en lugar de una tecnología de radioenlace RF en un sistema de medición eléctrica avanzada AMI (Advanced Metering Infrastructure) ofrece varias ventajas:

- Mayor cobertura en interiores: Las señales PLC se propagan a través de la red eléctrica existente, lo que facilita una mejor penetración en estructuras y edificios. Esto es especialmente útil en áreas urbanas densamente pobladas donde las señales de radio pueden tener dificultades para llegar a interiores.
- Menor infraestructura adicional: La infraestructura física que emplea la tecnología PLC existentes en la zona de estudio, lo que significa que no se requiere una nueva infraestructura de torres o antenas como en el caso de las tecnologías de radioenlace RF.
- Costos reducidos: Dado que la infraestructura física ya existe en la zona de estudio, la implementación de la tecnología PLC puede resultar en costos

más bajos en comparación con la construcción de una nueva infraestructura para radioenlace RF.

- Mayor fiabilidad: Las líneas eléctricas son una vía estable para la transmisión de señales. Las interferencias externas y las fluctuaciones de señal que pueden afectar a las tecnologías de radioenlace RF son menos problemáticas en PLC.
- Seguridad mejorada: Las señales PLC están menos expuestas a posibles ataques cibernéticos y piratería debido a que se transmiten a través de cables físicos, lo que hace que sea más difícil interceptar o interferir con las comunicaciones.
- Capacidad de transmisión de datos: Las líneas eléctricas ofrecen una mayor capacidad de transmisión de datos en comparación con algunas tecnologías de radioenlace RF, lo que puede ser beneficioso para enviar datos más detallados y en tiempo real.
- Menor consumo de energía eléctrica: Los dispositivos que emplean la tecnología PLC pueden funcionar con un consumo de energía eléctrica más bajo que algunas soluciones de sistemas de radioenlaces RF, lo que puede ser importante para la vida útil de las baterías en dispositivos de campo.
- Facilidad de integración: Dado que muchas redes eléctricas ya están equipadas con tecnología PLC para tareas como la telemetría, la integración de sistemas AMI basados en PLC puede ser más fluida y compatible con las infraestructuras existentes.

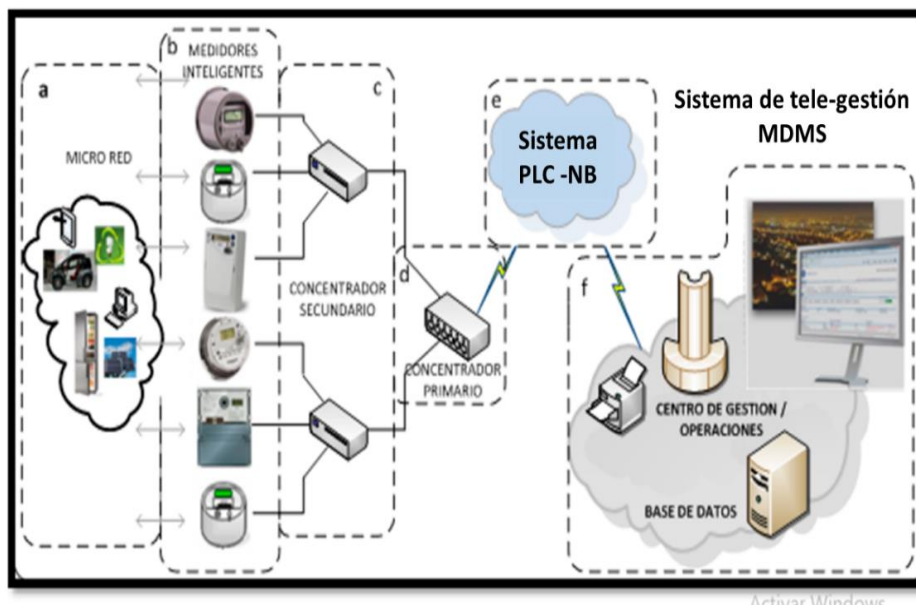
La figura 25 ilustra los elementos que componen la red de comunicaciones fundamentado en la tecnología PLC utilizado en este proyecto.

Para la toma de decisión de la selección de la tecnología, se tuvo que hacer una comparación de las características técnicas entre las tecnologías existentes en el mercado de equipos PLC.

En la Tabla 2 se hace un comparativo entre las 4 tecnología PLC existentes en el mercado.

**Figura 25**

Sistema PLC empleado en el proyecto



Nota. Adaptada de "Infraestructura de medición avanzada en las redes inteligentes", (p. 17), Narváez, (2013)

**Tabla 2**

Comparación de las tecnologías PLC existentes

Características	UltraNarrowBand (UNB)	NarrowBand (NB)	QuasiBand (QB)	BroadBand (BB)
Velocidad de transmisión	(100-120bps)	(1-100 kbps)	(Hasta 2 Mbps)	(3,8 Mbps-1,8Gbps)
Tipo de banda	Banda angosta	Banda angosta	Banda angosta	Banda angosta
Frecuencia de transmisión	(0,3-3KHz)	(Hasta 500 KHz)	(1-10 MHz)	(1,8-86 MHz)
Balance de ruido	Excelente	Cancela ruido de banda ancha no deseado	Nulo	Nulo
Consumo de energía	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Distancia de trabajo	Largas	Largas	Largas	Largas
Tipo de comunicación	Bi-direccional	Bi-direccional	Bi-direccional	Bi-direccional
Confiabilidad	Muy alta	Alta	Depende de la calidad de la línea	Depende de la calidad de la línea
Costo	Bajo	Bajo	Alto	Alto

De acuerdo con lo mencionado previamente, las tecnologías que presentan mayores beneficios en términos de relación costo-beneficio son las tecnologías PLC Narrow Band y PLC Broad Band. Estas tecnologías brindan múltiples aplicaciones según el sector en el que se implementen, como se indica en el estudio de Sharma y Saini (2017).

Considerando que no se requiere un acceso de alta velocidad de transmisión para la tele-gestión del sistema AMI propuesto, se decidió por la tecnología PLC de banda angosta (NB).

#### **4.3.4. Sistema de tele-gestión MDMS**

Sin un sistema de gestión de medición y procesamiento de datos de energía eléctrica Sin una plataforma tecnológica de gestión administrativa de mediciones y procesamiento, que facilite la información de consumo eléctrico provenientes de la data suministrada por los medidores inteligentes, no sería factible la conversión de la red eléctrica convencional en un sistema de infraestructura inteligente AMI.

Las características que debe tener el Meter Data Management System (MDMS) son:

- Permite realizar lectura remota centralizada desde la central de control ubicada en la empresa prestadora del servicio eléctrico, de los datos recopilados por los medidores inteligentes situados en el Parque Industrial.
- Capacidad de efectuar la tele-gestión energética entre las subestaciones de distribución eléctrica y los medidores inteligentes que se encuentran instalados en la zona de estudio.
- Posibilita la identificación de la posición topológica del medidor inteligente en la zona de cobertura y permite la identificación remota del alimentador a la que está interconectado y que pertenece a la red de distribución eléctrica.
- Permite monitorear de modo remoto la presencia o ausencia de tensión de la línea eléctrica en el sistema AMI a través de una tele-supervisión de los medidores inteligentes conectados al sistema.
- Identifica cualquier manipulación de los medidores inteligentes del sistema AMI y supervisa de manera continua y remota estos dispositivos.
- Capacidad para llevar a cabo desconexiones y reconexiones de usuarios en baja tensión de forma remota (tele-gestión).

- Facilita la incorporación de herramientas informáticas de la empresa prestadora de servicio que pertenecen a otros proveedores (sistema abierto), utilizando interfases convencionales.
- Permite un alto nivel de seguridad del sistema AMI, que disminuya la probabilidad de que los datos de medición sean comprometidos o alterados por personas no autorizadas.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

A continuación, se analizó y discutió los resultados obtenidos para la propuesta de un sistema de medición AMI que se instalará en la infraestructura eléctrica del Parque Industrial, ubicada en la zona de estudio. Hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones previas al momento de seleccionar la propuesta del sistema AMI:

Dentro de la zona industrial denominada Parque Industrial ubicada en la ciudad de Tacna, coexisten tanto usuarios residenciales como industriales.

Que la propuesta del sistema AMI se hace en función de nuevos usuarios industriales, con la finalidad de utilizar la capacidad de distribución eléctrica de la Sub-Estación Parque Industrial para los fines por lo que fue creado el Parque Industrial de Tacna.

### 5.1. Análisis de la infraestructura del sistema AMI

Considerando que la red lleva la electricidad desde el sistema de transmisión hasta los consumidores finales, proporcionando un enlace crucial en la entrega de energía eléctrica. Usualmente, esta red de distribución eléctrica incluye líneas de Media Tensión (MT), subestaciones eléctricas, transformadores de potencia instalados en postes, así como el tendido de cables de distribución de baja tensión (BT), Considerando la presencia en ocasiones de medidores electrónicos y medidores analógicos, se requiere hacer las siguientes precisiones:

- Para las líneas de mediana y baja tensión, la configuración física suele estar limitada por la ubicación específica donde se planea implementar. Ello debido a la naturaleza de los diferentes usuarios existentes en el ámbito del Parque Industrial.
- La topología de la red de distribución AMI, puede fluctuar de acuerdo con las limitaciones financieras, los estándares de confiabilidad del sistema y las particularidades en cuanto a la demanda energética de los diversos usuarios que utilizan conexiones monofásicas o trifásicas.

En las infraestructuras de distribución eléctrica, es común observar tres configuraciones topológicas distintas, los cuales que a continuación se describen:



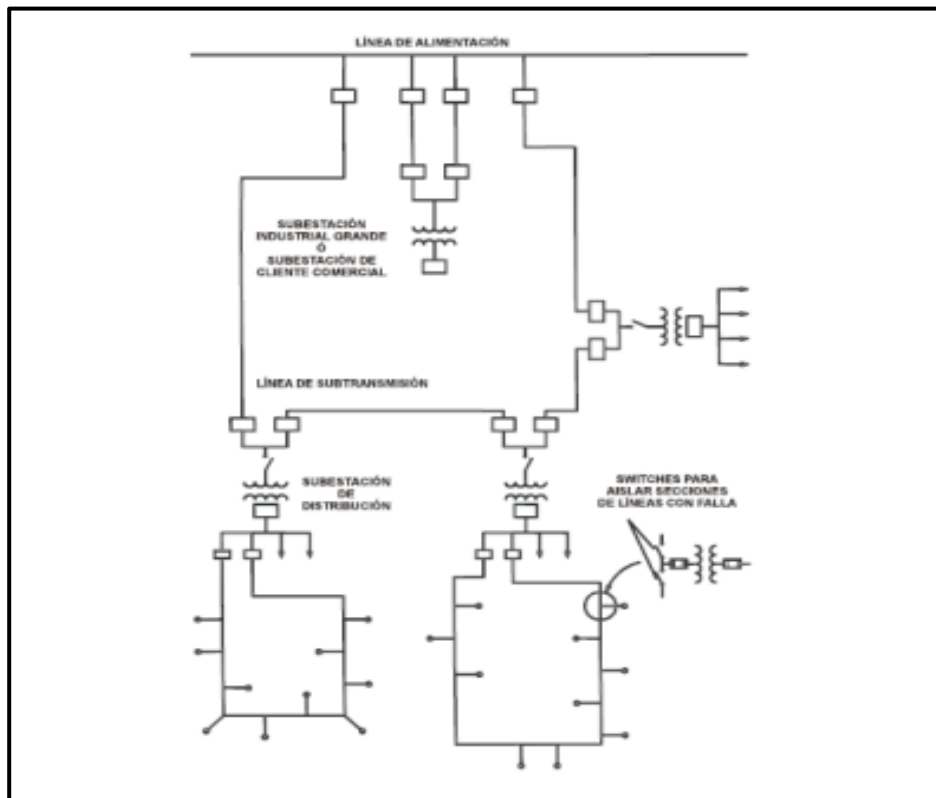
### 5.1.1. Anillo

Usualmente, en zonas urbanas, una red eléctrica suele estar configurada en forma de anillo, y estará conectada a múltiples puntos de conexión eléctrica. Estos puntos de enlace generalmente se encuentran disponibles, aunque ofrecen flexibilidad para diferentes configuraciones, y su operación se produce mediante el cierre y apertura de interruptores, según lo requiera el sistema de energía. Estos interruptores pueden ser controlados de manera remota desde un centro de control o mediante la intervención de un especialista en líneas de transmisión, tal como se ilustra en la figura 26.

La ventaja del diseño interconectado en forma de anillo radica en que, en caso de falla o necesidad de mantenimiento, es posible aislar una sección de la red eléctrica y mantener operativa el suministro eléctrico en las secciones restantes de la red eléctrica. En su mayoría, estas áreas proporcionan un suministro trifásico para aplicaciones industriales (Bayindir et al., 2016).

**Figura 26**

*Configuración de red eléctrica interconectada en forma de anillo*



*Nota.* Adaptada de "Implementación de un sistema de comunicación por líneas de potencia (PLC) para su uso en redes inteligentes de distribución", (p.17), Motta, L. y Gonzalez J. (2019).

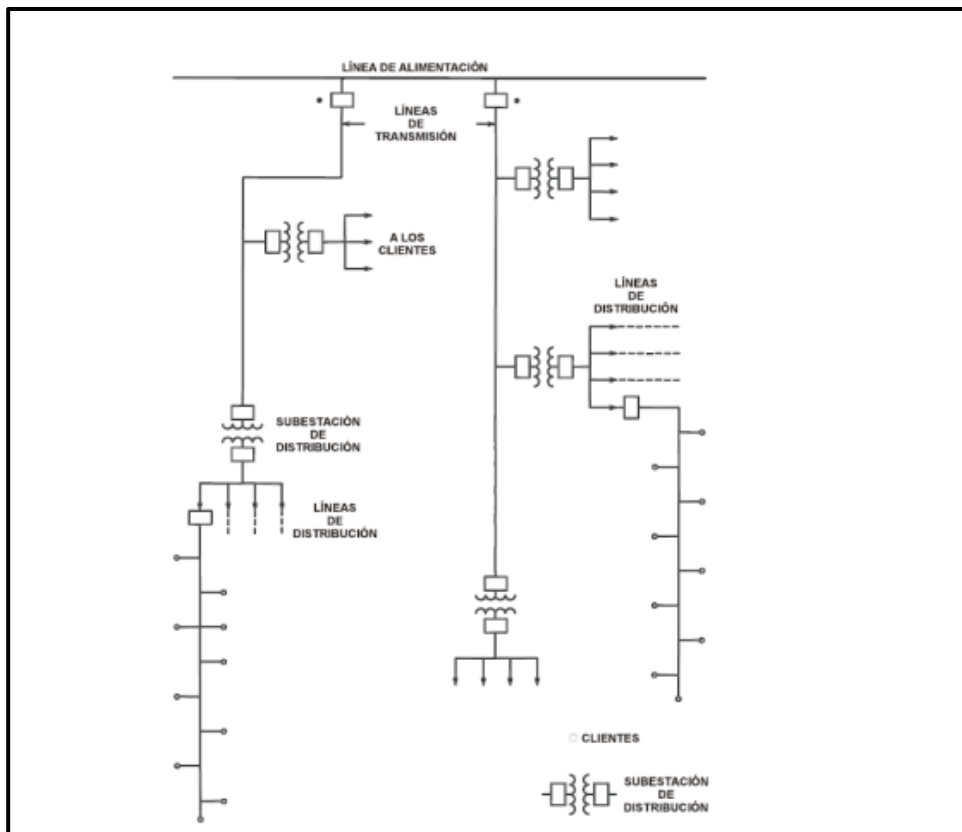
### 5.1.2. Radial

Una disposición radial o interconectada es la forma más económica y simple para una línea de distribución, y es la predominante en la mayoría de los sistemas. Esta configuración topológica presenta una estructura similar a un árbol, en la cual la energía fluye desde una fuente principal hacia líneas de distribución de niveles inferiores hasta llegar finalmente a las residencias y establecimientos comerciales destinatarios. Esta configuración es común en líneas rurales extensas con puntos de carga aislados.

No obstante, en términos de comunicación, esta topología tiene una desventaja significativa en relación con los retardos de tiempo, debido a que la cantidad de enlaces entre nodos tiende a incrementarse en relación al tamaño de la red (Jessen, 2015). Este fenómeno se representa en la figura 27.

**Figura 27**

*Red eléctrica interconectada en topología radial*



*Nota.* Adaptada de Implementación de un sistema de comunicación por líneas de potencia (PLC) para su uso en redes inteligentes de distribución, p.18, Motta, L. y Gonzalez J. (2019).

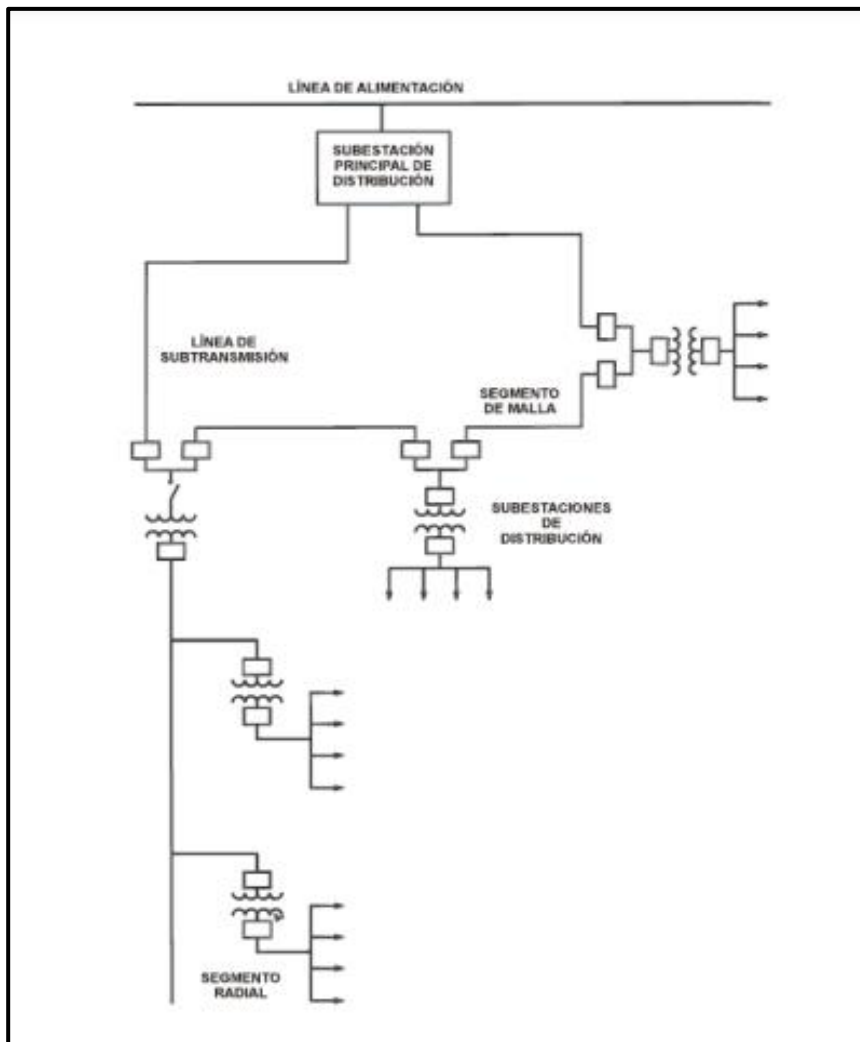
### 5.1.3. Interconectado

Esta configuración topológica exhibe numerosas conexiones entre los nodos, evitando la presencia de canales de comunicación múltiples. Esta estructura se subdivide en dos modalidades de conexión: en primer lugar, la interconexión, en la cual todos los nodos están conectados directamente entre sí; y en segundo lugar, la variante parcial, en la cual los nodos establecen vínculos entre ellas a través de un punto designado o por medio de otro nodo existente en la red (Jessen, 2015).

Este tipo de conexión se muestra en la figura 28.

**Figura 28**

*Red eléctrica interconectada*



*Nota.* Adaptada de Implementación de un sistema de comunicación por líneas de potencia (PLC) para su uso en redes inteligentes de distribución, p.19, Motta, L. y Gonzalez J. (2019).

#### **5.1.4. Análisis comparativo**

Del análisis realizado de las tres topologías que pudiesen ser instalados en la propuesta de implementación del sistema AMI del proyecto, lo recomendable es emplear para futuras instalaciones la topología en anillo por las ventajas que ofrece, sobre todo en instalaciones industriales trifásicas.

#### **5.2. Análisis del protocolo de comunicación de la tecnología PLC**

La tecnología PRIME es un estándar internacional abierto y es utilizada por una gran cantidad de fabricantes de sistemas y dispositivos de medición. Está bien adaptado a los parámetros del medio físico de transmisión de datos, proporciona altas tasas de transferencia de datos (hasta 141 Kbps) y la capacidad de monitorear la red PLC en tiempo real.

La tecnología G3-PLC también es un estándar abierto internacional centrado en la aplicación global. Se utiliza la topología de red de malla. La tasa de transferencia de datos es significativamente más lenta que PRIME, hasta 35 Kbps (CENELEC)/128 Kbps (ARIB). La ventaja del estándar es la transmisión de paquetes IPv6 a Internet, funcionamiento con varios tipos de equipos, no solo con medidores de electricidad.

La tecnología PRIME constituye un estándar global de naturaleza abierta y es ampliamente empleada por numerosos fabricantes de sistemas y dispositivos de medición. Está especialmente diseñada para ajustarse a los parámetros del medio físico de transmisión de datos, posibilitando tasas de transferencia de datos elevadas (hasta 141 Kbps) y la capacidad de llevar a cabo el monitoreo en tiempo real de la red PLC.

Por su parte, la tecnología G3-PLC también opera como un estándar internacional de carácter abierto, con un enfoque global en su aplicación. Hace uso de una estructura de red en forma de malla. Sin embargo, su tasa de transferencia de datos es notablemente más reducida en comparación con PRIME, llegando a alcanzar hasta 35 Kbps (CENELEC)/128 Kbps (ARIB). La principal fortaleza de este estándar radica en su habilidad para transmitir paquetes IPv6 a Internet y su capacidad para trabajar con diversos tipos de dispositivos, no limitándose únicamente a medidores eléctricos.

La tabla 3 muestra la comparación de ambos protocolos de comunicación en el sistema PLC:

**Tabla 3***Parámetros de protocolos de comunicación utilizados en los PLC*

<b>Protocolo</b>	<b>Prime</b>	<b>G3PLC</b>
Rango de velocidad	130 kbps	5,6-46 kbps
Máxima tasa de datos	128,6 kbps	33,4K bps
Tipo de Banda	Banda angosta	Banda angosta
Frecuencia de transmisión	3-95 KHz	3-490 KHz
Solidez de ruido	Medio	Alta
Confiabilidad	Medio	Alta
Adaptabilidad	Alta	Alta
Rendimiento	Alto	Alto
Multiplexación	OFDM	OFDM
Solicitud de retransmisión automática	Si	No
Monitoreo en tiempo real	Si	No
Costo (USD)	Bajo	Medio

### **5.3. Análisis comparativo**

Se optó por utilizar el protocolo de comunicación denominado PRIME. El propósito del protocolo PRIME (Powerline-Related Intelligent Metering Evolution) es establecer una estructura de comunicación que sea pública, abierta y no propietaria, basada en estándares globales. Su objetivo es simplificar la interacción entre dispositivos y sistemas de diferentes fabricantes, lo que posibilita el respaldo de las nuevas aplicaciones de gestión remota de medidores mediante la tecnología PLC (Power Line Communications).

Una de las principales ventajas de este protocolo reside en su naturaleza abierta. La tecnología utilizada por PRIME se fundamenta en la multiplexación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) en un rango de frecuencias que abarca desde 42 KHz hasta 89 KHz, con un ancho de banda de 47 KHz. Esto se logra a través de 97 portadoras con un ancho de banda de 488 Hz, y es capaz de alcanzar velocidades de transferencia de datos de hasta 130 kbps.

## CONCLUSIONES

Los sistemas AMI poseen una estructura compuesta por componentes de hardware y herramientas informáticas que ofrecen una perspectiva renovada de los procedimientos de distribución y comercialización de energía eléctrica. De igual manera, presentan un horizonte innovador en lo que respecta al diseño, operación y planificación de la red.

La amplia adopción de medidores inteligentes posibilita que todos los actores implicados obtengan ventajas en el desempeño de sus funciones, y que los clientes se involucren activamente en la cadena de valor de la energía eléctrica, creando de esta manera nuevas oportunidades de mercado y posibilidades comerciales.

Se llega a la conclusión de que, para llevar a cabo una implementación a gran escala, Electrosur S.A deberá adoptar estrategias que mejoren la factibilidad del proyecto, como la mejora de las infraestructuras de comunicación y una evaluación detallada desde el punto de vista económico, considerando también la colaboración con otras entidades.

Electrosur requerirá un sistema que posibilite la gestión de tarifas para su base de clientes amplia, con una mayor profundidad de información para mejorar la eficiencia del sistema, implementar medidas más efectivas contra el fraude y permitir la integración con otras plataformas.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere considerar áreas de investigación que exploren la viabilidad de aplicar la tecnología de comunicación de banda ancha PLC en segmentos específicos, a partir de un análisis exhaustivo de la demanda y las necesidades de servicios con conectividad a internet.

Se propone la creación de un módulo de comunicación que se integre con el sistema de tele-gestión en el hogar, con el fin de mostrar los consumos basados en precios, presentar notificaciones de la empresa proveedora de servicios de medición y atender solicitudes de los usuarios en relación a posibles problemas en el sistema eléctrico utilizado.

Para llevar a cabo la implementación de un sistema AMI con una masificación de usuarios, se sugiere iniciar con los recién llegados y aquellos que llevan más de dos décadas en las zonas urbanas con tecnología de comunicación de líneas de potencia (DLC). A medida que estas tecnologías se vuelvan más comunes, la opción de una red de radiofrecuencia (RF) en malla podría ser una alternativa valiosa en el futuro.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asencios, H., Meléndez, J. P., Yucra, H. (2017). *Diseño e implementación de una Red de área local con acceso a internet mediante la tecnología Power Line Communication (PLC)*. [Tesis de título, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/2503>
- Bastidas, H., Navarro, J. y Rodríguez, L. (2019). Propuesta de diseño de infraestructura de medición avanzada (AMI) para un sector Industrial en Bogotá. Editorial Pre-til, 19(34), 39-53. [http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/8102/propuesta\\_AMI\\_Pretil-34.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/8102/propuesta_AMI_Pretil-34.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Circuitor, (2021). *Manual de instrucción del software de programación Softwatt v.4, para los contadores CIRWATT*. <https://docs.circuitor.com/docs/M98224301-01.pdf>
- Coronel, M. (2011). *Estudio para la implementación del sistema de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.* [Tesis de título, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1104/14/UPS-CT002098.pdf>
- De la Fuente, A. (2018). *Sistema PLC de banda angosta para la caracterización de la impedancia de la red eléctrica*. [Tesis de título, Universidad Nacional de Mar del Plata]. Repositorio Institucional de la Universidad Mar del Plata, Argentina. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/253/AdeLaFuente-TFG-IEe-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elgama- Elektronika Ltda. (2007). *Medidor electrónico de energía eléctrica EMS, manual del usuario, versión 5*. [http://www1.udistrital.edu.co:8080/c/document\\_library/get\\_file?uuid=752baf98-99c7-4d33-9d26-c9768c61f1aa&groupId=42573](http://www1.udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=752baf98-99c7-4d33-9d26-c9768c61f1aa&groupId=42573)
- García, A. (2019). Evaluación de la implementación del sistema de medición inteligente para optimizar la lectura, corte y reconexión de 10 mil suministros eléctricos en baja tensión, en la zona de Lima Norte. [Tesis de título, Universidad nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería,

Lima, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/18987>

- Huanchi, N. y Palza, L. (2012). *Parque industrial: Un proyecto de regeneración urbana*. [Tesis de título, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2934>
- Idrovo D. y Reinoso, S. (2012). *Análisis de factibilidad para la implementación de un sistema AMI mediante contadores inteligentes por parte de la empresa eléctrica AZOGUES C.A.* [Tesis de título, Universidad Politécnica de Ecuador], Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1933/12/UPS-CT002400.pdf>
- López, L. (2008). *Análisis de alternativas de desarrollo de sistemas de medida avanzada bajo el concepto de redes inteligentes en Chilectra S.A.* [Tesis de título, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile, Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103149>
- López, G. (2015). *Automatización e integración al sistema SCADA de sub estaciones de potencia y redes de distribución en ELECTROSUR S.A.* [Tesis de título, Universidad Católica Santa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica Santa María Arequipa, Perú. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3038>
- Luka, M., Pallam, S., Thuku, I. and Etuk, U. (2015). Narrowband Power line communication for Smart Grid. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 6, Issue 7, 1244-1252. [https://www.researchgate.net/publication/281455040\\_Narrowband\\_Power\\_line\\_communication\\_for\\_Smart\\_Grid](https://www.researchgate.net/publication/281455040_Narrowband_Power_line_communication_for_Smart_Grid)
- Mamani, E. (2018). *Estudio del sistema de gestión de medición de energía eléctrica, basados en la tecnología PLC (Power Line Communication), de clientes mayores en el servicio eléctrico Ananea, 2018*. [Tesis de título, Universidad Nacional del Altiplano], Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8386>
- Motta, L. y Gonzalez, J. (2019). *Implementación de un sistema de comunicación por líneas de potencia (PLC) para su uso en redes inteligentes de distribución*. [Tesis de título, Universidad de La Salle], Bogotá, Colombia.

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1273&context=ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1273&context=ing_electrica)

Orbea, M. y Chacha, M. (2014). *Diseño e implementación de un prototipo de red de datos con tecnología PLC (Power Line Communication) para la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE*. Proyecto de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Latacunga, Ecuador.

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10110/1/AC-ESPEL-ENI-0353.pdf>

Osinergmin, (2020). *Diagramas unifilares de las instalaciones de transmisión secundaria de los sistemas de distribución.*

<https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/DiagUnifiliar/DIAGUNI2020.pdf>

Parejo, A. y García, S. (2021). Enseñanza práctica de los sistemas de telemetría para distribución eléctrica. En *Innovación e investigación docente en educación: experiencias prácticas* (pp. 495-515). Madrid: Dykinson.

[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/131814/parejo-matos\\_2021\\_ense%C3%BAncia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/131814/parejo-matos_2021_ense%C3%BAncia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Prime Alliance, (2016). *Soluciones para sistemas AMI.*

[https://docs.circutor.com/docs/Cat\\_PRIME\\_2016\\_SP.pdf](https://docs.circutor.com/docs/Cat_PRIME_2016_SP.pdf)

Sanchez, C. (2020). *Normas APA actualizadas (7ª Edición): Ejemplos de Referencia Bibliográficas APA.* <https://normas-apa.org/referencias/ejemplos/>

Serna, H. (2011). *Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC.*

[https://www.redeweb.com/\\_txt/676/62.pdf](https://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf)

Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.-SEAL (2019). *Plan de reemplazo a Sistema de Medición Inteligente-SMI.*

[https://www2.osinergmin.gob.pe/GRT/Procesos-Regulatorios/VAD-2019-2023/000540\\_Tram\\_005881\\_Seal\\_Adicional.pdf](https://www2.osinergmin.gob.pe/GRT/Procesos-Regulatorios/VAD-2019-2023/000540_Tram_005881_Seal_Adicional.pdf)

Zegarra, M. (2017). *Análisis de nuevo sistema de medición centralizada de energía eléctrica con medidores inteligentes en área de la región Arequipa.* [Tesis de título, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5097>

**ANEXOS**

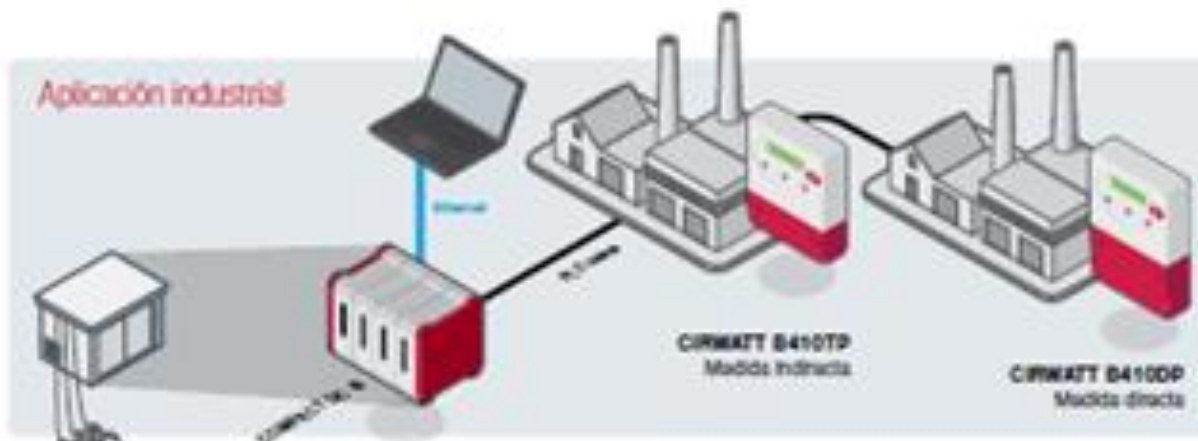
### Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Variable de estudio	Indicadores	Unidad de medida	Metodología
<p><b>Problema principal</b> ¿En qué medida, un sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), se integrará con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna en el año 2022?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿En qué medida la descripción y evaluación de la infraestructura eléctrica existente de la subestación eléctrica que suministra energía eléctrica en el Parque Industrial, facilitará la propuesta de un sistema gestión de medición avanzada (AMI)?</p> <p>¿En qué medida el establecimiento de las características y las funcionalidades del equipamiento propuesto, permitirá integrar el sistema de gestión de medición avanzada utilizando la tecnología PLC con la subestación eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna?</p> <p>¿En qué medida la realización del análisis comparativo de cada alternativa tecnológica permitirá la adecuada elección del sistema de gestión de medición avanzada (AMI) en la zona de estudio?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Integrar un sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna, año 2022</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Describir y evaluar la infraestructura eléctrica existente de la subestación eléctrica que suministra energía eléctrica en el Parque Industrial, a fin de facilitar la propuesta de un sistema gestión de medición avanzada (AMI)</p> <p>Establecer las características y las funcionalidades del equipamiento propuesto, que permita integrar el sistema de gestión de medición avanzada utilizando la tecnología PLC con la subestación eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna.</p> <p>Realizar el análisis comparativo de cada alternativa tecnológica que permita la adecuada elección del sistema de gestión de medición avanzada (AMI) en la zona de estudio.</p>	<p>Un sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC integrada a la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna.</p> <p><u>Dimensión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología PLC-NB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de tensión de línea trifásica</li> <li>• Velocidad de transmisión utilizando PLC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 220 voltios trifásico</li> <li>• Bit /segundo</li> </ul>	<p><u>Tipo de investigación</u> El tipo de investigación empleada fue aplicada.</p> <p><u>Diseño de la Investigación</u> El diseño de la Investigación es no experimental.</p> <p><u>Unidad del estudio</u> Es un sistema de gestión de medición avanzada (AMI) basado en la tecnología PLC (Power Line Communication), con la Sub-Estación Eléctrica Parque Industrial de la ciudad de Tacna, año 2022.</p> <p><u>Técnicas de recolección de datos</u> Técnica de análisis documental</p> <p><u>Instrumentos</u> Fuentes secundarias: Libros especializados de tecnología PLC Catálogos técnicos sobre componentes de un sistema AMI</p>

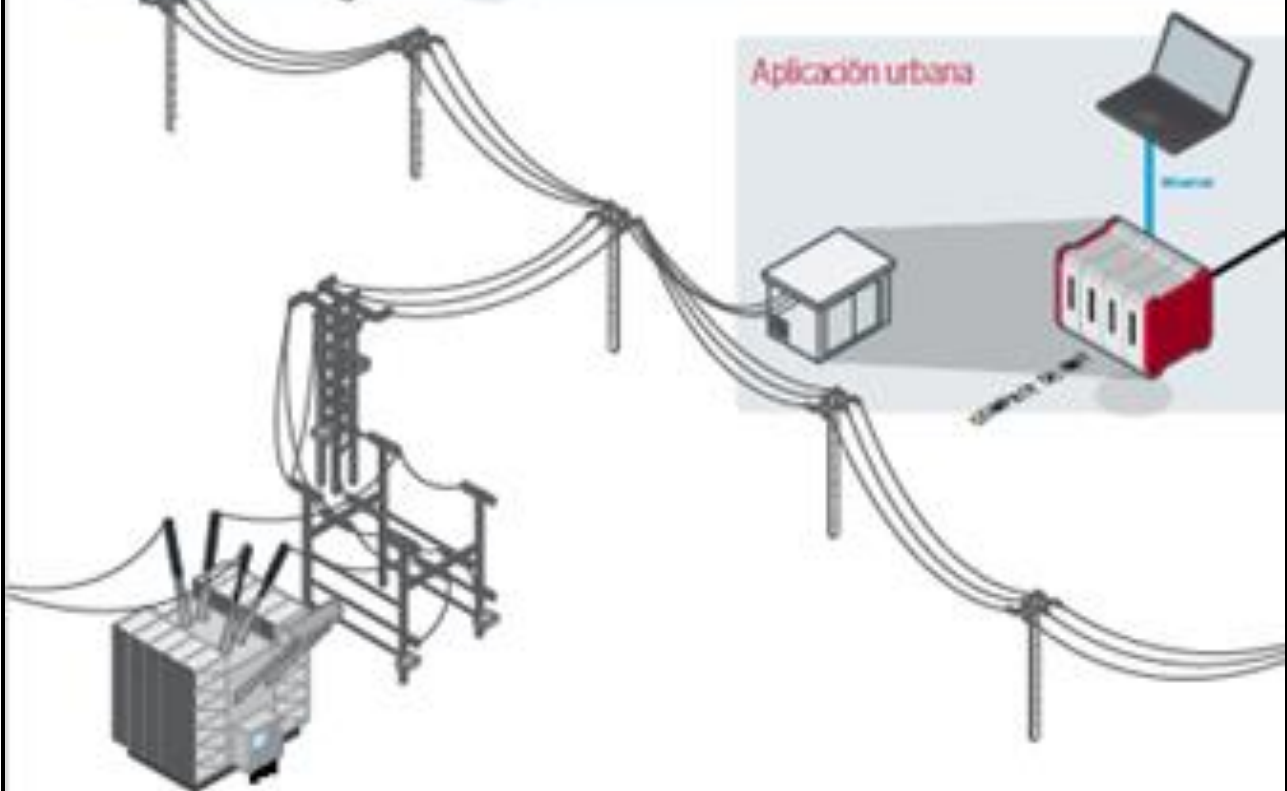
## Anexo 2. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA AMI

# Sistema completo de telegestión **PRIME**

Aplicación industrial



Aplicación urbana



## 1. Concentrador de datos

# Concentrador compacto para la telegestión **PRIME**



## Concentrador **PRIME**

### Serie **COMPACT DC**

#### Misión de un concentrador PLC

La misión principal de un concentrador PLC es la de leer, a través de la red eléctrica, los contadores de energía y exportar estos datos a uno o varios sistemas informáticos encargados de gestionar concentradores y en su defecto contadores. La capacidad de enviar los mismos datos recolectados por el concentrador a diferentes sistemas, agiles por ejemplo, las facturaciones ya que la obtención de las medidas son inmediatas.

No sólo las distribuidoras de energía u operadores de la red de distribución pueden optimizar sus procedimientos. Las comercializadoras de energía, empresas de servicios energéticos e incluso el mismo cliente final puede llegar a beneficiarse de la obtención de los datos de sus consumos, ya que el sistema permite conocer sus hábitos de consumo y optimizar su tarifa o potencia contratada.

Las nuevas necesidades de mercado, en cuanto a nuevas prestaciones y funcionalidades, han llevado a que CIRCUITOR desarrolle la tercera generación de concentradores PRIME, la familia COMPACT DC.





### Características técnicas

Circuito alimentación	Tensión nominal	48...216 V.c.a.	
	Frecuencia	50/60 Hz	
	Consumo	Compact DC 30	10...20 VA
		Compact DC 40	10...20 VA
		Compact DC 80T	1...20 VA
Compact DC Basic		10...20 VA	
Compact DC 2	11...20 VA		
Circuito del acople PLC	Categoría instalación	CAT II 600 V	
	Tensión nominal	10/200...200/600 V.c.a. <math>\pm 0,04</math>	
	Frecuencia	50...60 Hz	
	Modulación	CFDM (FRM2)	
PC embebido	Serie	GENECC A	
	Microprocesador	600 MHz	
	Memoria	Flash: 256 MB, SDRAM: 128 MB	
	Consumo	<math>\leq 2,5</math> W	
Supervisor IT	Puerto de comunicaciones	1x Ethernet 10/100 MB/s, aislado 16 KV durante 1 minuto	
	Sistema operativo	Linux 3.14	
	Margen de medida de tensión	10/200...200/600 V.c.a. <math>\pm 0,04</math>	
	Corriente nominal (I <sub>n</sub> )	<math>\leq 1,5</math> A	
	Categoría de la instalación	CAT II 600 V	
	Margen de medida de frecuencia	50...60 Hz	
	Medida de la energía activa	Clase B (1)	
Medida de la energía reactiva	Clase 2		
LEDs de impulso	1 LED de impulso para energía activa: 20000 imp/kWh 1 LED de impulso para energía reactiva: 20000 imp/kVarh		
Modem 3G (Modelo Compact DC 30)	Tipo	Contribuyente HSPA + HSPA/ UMTS 850/900/1900/2100 MHz	
	Máxima potencia de salida	UMTS/3G (Potencia clase 3): 2x 250mW GSM con doble banda	
	Antena	Conector estándar SMA	
	Número antenas	4	
Entradas digitales (Modelo Compact DC 40)	Tipo	Contacto seco (V <sub>max</sub> : 250 V, I <sub>max</sub> : 10 mA)	
	Aislamiento	10 KV durante 1 minuto	
Características constructivas	Material envolvente	Plástico V0 autoextinguible	
	Grado de protección	IP 41	
	Dimensiones	Compact DC 30	202 x 106 x 100 mm
		Compact DC 40	202 x 106 x 100 mm
		Compact DC 80T	156 x 106 x 100 mm
	Peso	Compact DC 30	1,00 kg
		Compact DC 40	1,00 kg
Compact DC 80T		0,60 kg	
Compact DC Basic		0,60 kg	
Compact DC 2	1,00 kg		
Sección mínima de los cables	Medida de tensión y alimentación: mm <sup>2</sup> Secundario de las transformaciones de corriente: 2x mm <sup>2</sup>		
Normas	UNE-EN 61000-4-2:2010, UNE-EN 61000-4-3:2011, UNE-EN 61000-4-4:2010, UNE-EN 61000-4-5:2011, UNE-EN 62062-01:2004, IEC 61010-01:12		

### Referencias

Tipo	Código	Dimensiones (mm)	Supervisor IT	Modem 3G	Entradas	Conexión IP transit.
Compact DC 30	040210	202x106x100	*	*	-	-
Compact DC 40	040209	202x106x100	*	-	4 entradas digitales aisladas: 10 kV/1 min	-
Compact DC 80T	040208	156x106x100	*	-	-	-
Compact DC Basic	040207	156x106x100	-	*	-	-
Compact DC 2	040206	216x106x100	3	-	4 entradas digitales aisladas: 10 kV/1 min	*



7



## 2. Contadores inteligentes trifásicos

# Contadores de energía para aplicaciones industriales y PYMES



## Contadores industriales **PRIME**

### **B410DP / B410TP**

#### Contadores tipo 3 y 4

El sistema de telegestión PRIME que ofrece CIRCUITOR, no sólo aporta una robusta solución a la gestión de los contadores residenciales, sino que también permite integrar los contadores industriales de medida directa e indirecta, en suministros superiores a 15 kW en Baja Tensión.



## Aplicaciones

Aunque los sistemas de telegestión nacieron originalmente para dar una respuesta eficaz a la lectura y a la gestión de contadores residenciales, es lógico pensar que en una segunda fase o incluso dentro del proyecto inicial, se fija como objetivo aprovechar todos los recursos ya desplegados para integrar los contadores industriales conectados a la misma red de baja tensión.

CIRCUTOR ha integrado las comunicaciones PRIME en los contadores trifásicos de medida directa e indirecta. Con la incorporación de este tipo de clientes, se completa la telegestión de todos los suministros conectados a un centro de transformación. Se consigue de esta forma un balance de energías más completo ya que no sólo se dispone de la lectura de los contadores residenciales, sino también de los industriales, pudiendo obtener una información más precisa de las pérdidas técnicas y no técnicas.

### Características técnicas

		Trifásico BM00P	Trifásico BM0TP
Circuito alimentación	Tensión nominal	3 x 230 / 400 Vc.a.	3 x 100/500 V / 3 x 230/400 Vc.a.*
	Consumo	< 2 W ; < 10 VA	< 2 W ; < 10 VA
	Frecuencia	50 Hz	50 Hz†
Medida de corriente	Corriente nominal	10 A	5 A
	Corriente máxima	100 A	10 A
Clase de precisión	Energía activa	EN 50470 - Clase 0.1 / IEC 62053-21 (Clase 0)	
	Energía reactiva	IEC 62053-22 - Clase 2	
Reloj	Función	(EN 61038) < 0,1 segundo a 20 °C	
Batería	Tipo	Litio	
	Vida	> 20 años a 20 °C	

### Modelos

Código	Tipo	Descripción
BM0P	#10-021A-00010	Medida directa
BM0T	#10-021A-00010	Medida indirecta

\* Consultar para otros modelos.



### 3. Armarios de tele gestión para centros de transformación en interior

# Soluciones compactas para CT en interior

## Armarios para telegestión en CT

CIRCUITOR ofrece una solución completa para la telegestión en los centros de transformación. Los armarios contienen todos los elementos necesarios para poder realizar la telemetría y gestión del concentrador y de los contadores conectados al mismo. Además incluye elementos de protección y medida, que proporcionan al armario robustez y fiabilidad.

54

PRIME © 2010 CIRCUITOR, S.A. - [circuitor.com](http://circuitor.com) - [info@circuitor.com](mailto:info@circuitor.com)

## Armarios con telegestión PRIME

La serie OMBT PRIME COMPACT CT son armarios de interior formados por diferentes modelos de concentradores de la serie Compact DC, todos ellos con Supervisor de Taja Tensión incluido. La posibilidad de selección de diferentes modelos de concentrador compact DC nos permite añadir nuevas prestaciones como comunicaciones remotas 3G mediante módem interno integrado, estado de alarmas mediante entradas digitales o medida de contadores instalados en dos transformadores con líneas independientes. Todos los modelos incluyen protección para sobretensiones transitorias, bipolar o tetrapolar, registro de comprobación seccionable para la medida y protección magnetotérmica.

El armario está disponible en formato politerar con tejadillo (también válido para intemperie) o en envolventes de doble aislamiento con tapas transparentes y abatibles.

### Equipos OMBT PRIME COMPACT CT

- Concentrador Compact DC PRIME
- Contador supervisor de BT (integrado en el concentrador)
- Protector sobretensiones
- Botero de comprobación seccionable de 10 elementos.
- Interruptores magnetotérmicos de 2 y 4 polos.
- Módem 3G (según modelo)
- 4 entradas digitales para alarmas o estados (según modelo)
- Conexión segundo transformador (según modelo).

### Modelos

Código	Tipo	Entorno	Módem	Concentrador	Dimensiones
GC0242	OMBT PRIME COMPACT CT 6	Politerar	3G	COMPACT DC 3G	600x400x100
GC0243	OMBT PRIME COMPACT CT 6A	Doble aislamiento	3G	COMPACT DC 3G	600x400x100
GC0245	OMBT PRIME COMPACT CT 7	Politerar	-	COMPACT DC 5BT	600x400x100
GC0246	OMBT PRIME COMPACT CT 7A	Doble aislamiento	-	COMPACT DC 5BT	600x400x100
GC0248	OMBT PRIME COMPACT CT 8	Politerar	-	COMPACT DC 2	600x400x100
GC0247	OMBT PRIME COMPACT CT 8	Politerar	3G / GPS	COMPACT DC 2	600x400x100



#### 4. Armarios de tele gestión para centros de transformación en intemperie

Soluciones  
compactas  
para CT en  
intemperie



### Armarios para telegestión en PT

CIRCUTOR también ha desarrollado una solución robusta para la telegestión de los transformadores montados en poste.

Para los armarios de intemperie, se integran soluciones similares a las de los de interior, pero con la opción de añadir una envolvente que incluye los transformadores de medida, ya sea el modelo Individual TC 0,3 o la solución trifásica compacta TRMC-X3. También se puede incorporar un interruptor que permita el corte en carga.



www.circutor.com | info@circutor.com | 91 201 00 00

## Armarios con telegestión PRIME

La serie CMET PRIME COMPACT PT son armarios de exterior con concentrador Compact DC incorporado junto con el módulo de Supervisión de Baja Tensión. También ofrecen la posibilidad de instalar el conjunto anterior junto con un módem 3G integrado para la comunicación remota con el sistema de telegestión.

También se integran protecciones de sobretensión y una regla de comprobación seccionable que nos permite acceder a los bornes del contador supervisor. El armario dispone de una segunda envolvente para la medida del Supervisor de Baja Tensión, que incluye embudo con pletinas de cobre y transformadores trifásicos compactos de intensidad TRMCa3 o individuales mediante transformadores TC 0.3 con diferentes calibres.

### Elementos CMET PRIME COMPACT PT

- Concentrador Compact DC PRIME
- Contador supervisor de BT (integrado en el concentrador)
- Interruptor de corte en carga.
- 1 transformador compacto TRMCa3 o tres transformadores individuales TC 0.3
- Protector sobretensiones
- Botero de comprobación seccionable de 10 elementos.
- Interruptores magnetotérmicos de 2 y 4 polos
- Módem 3G (según modelo).

### Modelos

Código	Tipo	Módem	Concentrador	Transformadores	Int. Corte	Dimensiones
GG1DG0001	CMET PRIME COMPACT PT 3.200 A	3G	COMPACT DC 3G	TRMCa3 200% A	señal A	1000x500x300
GG1DG0002	CMET PRIME COMPACT PT 3.600 A	3G	COMPACT DC 3G	TRMCa3 400% A	señal A	1000x500x300
GG1DG0003	CMET PRIME COMPACT PT 3.600 A	3G	COMPACT DC 3G	TC 0.3 200% A	señal A	1200x500x300
GG1DG0004	CMET PRIME COMPACT PT 4.200 A	-	COMPACT DC 3BT	TRMCa3 200% A	señal A	1000x500x300
GG1DG0005	CMET PRIME COMPACT PT 4.800 A	-	COMPACT DC 3BT	TRMCa3 400% A	señal A	1000x500x300
GG1DG0006	CMET PRIME COMPACT PT 4.800 A	-	COMPACT DC 3BT	TC 0.3 200% A	señal A	1200x500x300
GG1DG0007	CMET PRIME COMPACT PT 5.200 A	3G	COMPACT DC 3G	TRMCa3 200% A	-	1000x500x300
GG1DG0008	CMET PRIME COMPACT PT 5.800 A	3G	COMPACT DC 3G	TRMCa3 400% A	-	1000x500x300
GG1DG0009	CMET PRIME COMPACT PT 5.800 A	3G	COMPACT DC 3G	TC 0.3 200% A	-	1000x500x300
GG1DG0010	CMET PRIME COMPACT PT 6.200 A	-	COMPACT DC 3BT	TRMCa3 200% A	-	1000x500x300
GG1DG0011	CMET PRIME COMPACT PT 6.800 A	-	COMPACT DC 3BT	TRMCa3 400% A	-	1000x500x300
GG1DG0012	CMET PRIME COMPACT PT 6.800 A	-	COMPACT DC 3BT	TC 0.3 200% A	-	1000x500x300



## 5. Software de tele gestión MDMS

# Accesorios para el sistema de telegestión

## Accesorios para sistema **PRIME**

CIRCUTOR dispone de una gama completa de accesorios que van desde los transformadores de corriente que se utilizan en los contadores industriales de medida indirecta, las protecciones de sobretensión que optimizan la vida de nuestros equipos frente a perturbaciones eléctricas, los elementos como los módulos DG que permiten integrar nuestros concentradores en las redes de comunicaciones, el software de parametrización SoftWatt PRIME, con el que podemos configurar los contadores, el cabezal óptico para la lectura y descarga local de los equipos.

## SoftWatt **PRIME**

El software SoftWatt PRIME es la aplicación orientada a compañías eléctricas y distribuidoras de energía, que permite configurar todos los parámetros relativos a la tarificación, medida y comunicaciones de los contadores con protocolo PRIME. SoftWatt PRIME es compatible con todos los equipos PRIME, ya sean monofásicos o trifásicos. La aplicación incluye, entre otras funciones:

- Configuración de contratos, tarifas y potencias contratadas
- Configuración del elemento de corte y visualización del display
- Descarga de curvas de carga, eventos y cierre.
- Configuración de relaciones de transformación en equipos indirectos.
- Parámetros de calidad de red.

