

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Desarrollo de un sistema embebido de lectura de medidores electrónicos multifunción de energía eléctrica por medio del protocolo DLMS/COSEM para automatizar el proceso de recolección de información de consumo eléctrico**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico**

**AUTOR:**

Diego Arturo Pacheco Figueroa

**ASESOR:**

Luis Angelo Velarde Criado

Lima, Marzo, 2025

### Informe de Similitud

Yo, .....Luis Angelo Velarde Criado.....,

docente de la Facultad de .....Ciencias e Ingeniería..... de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

..... Desarrollo de un sistema embebido de lectura de medidores electrónicos multifunción de energía eléctrica por medio del protocolo DLMS/COSEM para automatizar el proceso de recolección de información de consumo eléctrico .....


del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)

..... Diego Arturo Pacheco Figueroa .....,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 25/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: .....San Miguel 25-de Marzo del 2025.....

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Velarde Criado, Luis Angelo.	
DNI:09646736	Firma 
ORCID: 0000-0003-4879-9918	

# Resumen

El presente trabajo de tesis consiste en el diseño e implementación de un prototipo de sistema embebido capaz de realizar la toma de lectura de información de consumo de un conjunto de medidores de energía industriales por medio del protocolo abierto DLMS/COSEM, en este caso, medidores electrónicos multifunción de energía eléctrica, con el objetivo de recolectar, almacenar y mostrar la información del consumo eléctrico al usuario encargado de la toma de lectura y/o cliente final respectivo. El sistema embebido estará compuesto por una unidad de control, interfaz de comunicación serial a los medidores electrónicos y módulo de comunicación que brindará conectividad a la nube al dispositivo. Además, el sistema embebido se conectará a una aplicación almacenada en la nube mediante la cual se podrá realizar la toma de lectura y descarga de información respectiva de cada equipo de medición por parte del usuario. El sistema embebido se conectará a un grupo de medidores multifunción de energía eléctrica por medio de un único bus de comunicación serial, de esta manera es posible obtener la información de cada medidor de manera independiente y diferenciada.

La interfaz de comunicación serial utilizará la tecnología RS-485, el cual es un estándar de comunicación aceptado por los medidores electrónicos multifunción, además de permitir un enlace de comunicación confiable frente a entornos que contengan ruido eléctrico [1]. Los equipos de medición corresponden a medidores de energía eléctrica los cuales contarán con el protocolo DLMS/COSEM, el cual es un protocolo de comunicación abierto habilitado en medidores electrónicos multifunción de diversos fabricantes [2], [3], [4]. Se utilizarán transceptores de comunicación RS-485 a UART, con el objetivo de realizar la conexión entre el bus serial RS-485 de los medidores multifunción al puerto serial UART de la unidad de control [5]. Por otro lado, con

respecto a la unidad de control, será implementada en una microcomputadora o microcontrolador y tendrá la tarea de ejecutar el código fuente necesario para realizar la conexión con los medidores multifunción y recolectar la información necesaria. Adicionalmente, se contará con una aplicación localizada en un servidor en la nube, la cual se conectará a una base de datos que también se encontrará almacenada en la nube. De esta forma, mediante la aplicación será posible enviar los comandos necesarios para realizar la lectura de los medidores electrónicos multifunción, almacenar la información en la base de datos y brindar una interfaz de visualización web al usuario para que pueda observar y exportar la información recolectada. Finalmente, el código fuente a utilizar estará basado en el protocolo DLMS/COSEM.



# Agradecimiento

*Dedicado a mis padres Arturo y Micaela, quienes en una época difícil para mi familia me dieron la oportunidad de estudiar la carrera que escogí. A Dayana, la persona que me acompañó en toda mi etapa universitaria. A los amigos que hice a lo largo de todos estos años de estudio, por su apoyo y confianza incondicional.*

# Índice General

<b>1. Presentación de problemática y situación actual de lectura de medidores industriales en el Perú.....</b>	<b>3</b>
1.1. Motivación del estudio.....	3
1.1.1. Descripción del contexto de la problemática .....	3
1.1.2. Importancia del problema a resolver.....	6
1.2. Estado del arte.....	7
1.3. Justificación .....	11
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo Principal .....	13
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
<b>2. Marco teórico y modelo de solución .....</b>	<b>15</b>
2.1. Unidad de recolección de datos.....	15
2.1.1. Medidor multifunción .....	15
2.1.2. Medidor Multifunción de Energía Eléctrica.....	16
2.2. Red de comunicación .....	17
2.2.1. Interfaces de comunicación .....	18
2.2.2. Protocolo de comunicación.....	23
2.3. Centro de Gestión y Control.....	25
2.3.1. Sistema embebido.....	25
2.3.2. Servidores y Base de Datos .....	30
2.4. Integración de sistema .....	31
<b>3. Diseño e implementación .....</b>	<b>33</b>
3.1. Requerimientos y especificaciones del sistema .....	33
3.2. Diagrama de bloques del sistema.....	34
3.3. Requerimientos y Alternativas de solución por bloque.....	34
3.3.1. Bloque Red de Medidores.....	34
3.3.2. Bloque Interfaz de Comunicación Bidireccional.....	36
3.3.3. Bloque Unidad de Control y Gateway IoT .....	39
3.3.4. Bloque Base de Datos.....	46
3.3.5. Bloque Plataforma IoT Cloud .....	48
3.3.6. Bloque Alimentación .....	51
<b>4. Resultados de Funcionamiento.....</b>	<b>52</b>

4.1 Condiciones de prueba .....	52
4.2. Hardware y Software utilizado .....	53
4.3. Esquema y descripción de prueba .....	53
4.3. Resultados de pruebas .....	56
4.4. Evaluación y análisis de pruebas.....	60
4.5. Análisis de costos.....	62
4.5.1. Análisis CAPEX .....	62
4.5.2. Análisis OPEX .....	66
4.5.3. Resumen de costos del sistema .....	68
<b>Conclusiones y aporte de la tesis .....</b>	<b>68</b>
<b>Recomendaciones y trabajo futuros.....</b>	<b>72</b>
<b>Bibliografía: .....</b>	<b>73</b>
Figura 1. Arquitectura interna Medidor Multifunción [36].....	17
Figura 2. Esquemático RS-485 Half-Duplex. Fuente Elaboración Propia .....	19
Figura 3. Esquemático RS-485 Full-Duplex. Fuente Elaboración Propia .....	19
Figura 4. Sistema de lectura de medidores integrado. Fuente Elaboración Propia .....	31
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema .....	34
Figura 6. Diagrama de conexión Medidor Multifunción .....	35
Figura 7. Bloque de transmisión RS-485 .....	37
Figura 8. Bloque de recepción RS-485.....	38
Figura 9. Circuito Regulador de voltaje.....	43
Figura 10. Diagrama de Flujo Script Unidad de Control .....	45
Figura 11. Arquitectura de plataforma Cloud.....	50
Figura 12. Esquema de funcionamiento Sistema de Lectura .....	54
Figura 13. Vista principal Interfaz Web.....	56
Figura 14. Vista de medidores conectados .....	57
Figura 15. Vista de visualización de información Medidor 5536666 .....	58
Figura 16. Vista de visualización de información Medidor 029123455 .....	58
Figura 17. Información de consumo exportada.....	59
Gráfico 1. Velocidad – Distancia [1] .....	19
Ilustración 1. Tarjeta Micro SD.....	44
Ilustración 2. Ranura SD RPI Zero W .....	44
Ilustración 3. Interfaz Web administrador de base de datos Mongo DB – 1 valor de energía	60

<b>Tabla 1. Alternativas Interfaz de comunicación</b> .....	36
<b>Tabla 2. Características eléctricas MAX485</b> .....	39
<b>Tabla 3. Alternativas Unidad de Control</b> .....	40
<b>Tabla 4. Cálculo de tiempo disponible en base de datos</b> .....	61
<b>Tabla 5. Costo CAPEX</b> .....	65
<b>Tabla 6. Consumo de potencia de modulo</b> .....	66
<b>Tabla 7. Costo OPEX</b> .....	67



# Introducción

En el ámbito peruano, distintos tipos de empresas; como son las empresas de distribución de energía eléctrica privadas, concesionarias eléctricas públicas o usuarios finales; utilizan medidores multifunción de energía eléctrica para la recolección y administración de datos del consumo energético eléctrico. En el caso de las empresas concesionarias públicas o empresas de distribución privadas, las cuales se encargan de la distribución de energía eléctrica en distintas zonas del Perú, es indispensable el uso de dichos equipos para poder registrar el consumo de energía de sus distintos tipos de clientes, ya sea clientes del sector residencial o comercial/industrial, además de los clientes regulados y no regulados[6]. En el caso de los usuarios finales o usuarios independientes, se utilizan los medidores electrónicos multifunción para tareas de submedición, es decir, gestionar de manera independiente el consumo propio de energía eléctrica que generan.

Sin embargo, el uso de medidores electrónicos implica la adquisición del software propietario específico para la lectura y configuración de los medidores, lo cual significa un gasto adicional por parte de los usuarios al momento de adquirir dichos equipos. Por otro lado, el correcto uso de los softwares propietarios requiere de un adecuado nivel de conocimiento en el área de comunicación serial, interfaces de comunicación, estándares de conexión digital, etc. Por lo que no todos los usuarios se encuentran en la capacidad de contar con el conocimiento necesario para operar e interpretar la información obtenida de dichos equipos.

El objetivo del presente trabajo de tesis es diseñar un sistema embebido que sea capaz de realizar la lectura de un conjunto de medidores multifunción de energía eléctrica de protocolo abierto DLMS/COSEM conectados por medio un único bus de comunicación. De esta manera, es posible realizar la lectura de información de consumo eléctrico de

forma independiente al software propietario del equipo, lo cual brinda mayor versatilidad en el manejo de la información. Por otro lado, el uso de un sistema embebido brinda al usuario una solución que implica tanto hardware como software, lo cual facilita el manejo del sistema por parte del propio usuario al volver transparente diversos conceptos como lo de comunicación serial, estándares de conexión, puertos de comunicación, etc. ya que el sistema embebido tiene la capacidad de obtener, procesar, y desplegar la información en un entorno visual para que el usuario pueda acceder a ella. Finalmente, el uso del protocolo de comunicación DLMS/COSEM brinda mayor versatilidad y escalabilidad al sistema ya que permite integrar medidores multifunción de diversos fabricantes a la plataforma.



# **1. Presentación de problemática y situación actual de lectura de medidores industriales en el Perú**

El capítulo 1 presenta la problemática planteada en el trabajo de tesis, así como la importancia de esta y los efectos que genera. Luego se realiza un estudio de las tecnologías y métodos actuales para resolver dicha problemática. Finalmente, luego de un análisis de las tecnologías mencionadas previamente, se plantea el objetivo principal y los objetivos específicos del trabajo de tesis.

## **1.1. Motivación del estudio**

Se describe la problemática a estudiar en el actual trabajo de tesis. Además, se analiza la importancia de dicho problema y los efectos que genera.

### **1.1.1. Descripción del contexto de la problemática**

El sector de las energías industriales, específicamente la generación y distribución de energía eléctrica, enfrenta nuevos desafíos en la actualidad, como son la confiabilidad, calidad de la energía, reducción de pérdidas, entre otras [7], [8], [9], [10]. Estas necesidades se observan tanto en el ámbito de la distribución de energía eléctrica, por parte de las concesionarias de energía del estado o distribuidores privados [11], como en el ámbito de los consumidores finales de distintos sectores como lo son el residencial y el comercial/industrial. Con el fin de satisfacer estas necesidades, distintos países han aplicado sus procesos de instalación de medidores electrónicos multifunción en sus redes eléctricas, como son el caso de Italia, Canadá, China, etc [12]. Cada uno con sus propias proyecciones y porcentajes de implementación. En el caso peruano, en septiembre de 2010 se propuso un Proyecto de Ley en el que se proponía promover el desarrollo de redes eléctricas multifunción a nivel nacional, con el objetivo de cumplir con los retos

mencionados anteriormente en la red local, y ya para el año 2017, se contaba con más de 8700 medidores multifunción en 7 distritos en Lima como parte de un plan piloto [13]. Por otro lado, en el año 2016, se aprobó en el Perú el Decreto Supremo N°018-2016 [14], mediante el cual el estado peruano exhorta a las empresas de distribución de energía eléctrica a presentar ante OSINERGMIN un plan gradual de reemplazo a sistemas de medición inteligente, lo cual implica un cambio o reemplazo de medidores de energía eléctrica convencionales por medidores multifunción o medidores de tecnología AMI (Advanced Metering Infrastructure), dicho Decreto Supremo fue modificado por el Decreto Supremo N°028-2021 [15] en el año 2021, mediante el cual se establecen las disposiciones para la implementación de planes piloto de instalación y reemplazo de medidores convencionales por medidores de tecnología AMI [14], [15].

En este contexto, es posible analizar 2 sectores específicos de la industria eléctrica en el Perú que utilizan medidores electrónicos multifunción, los cuales son las empresas distribuidoras de energía y los consumidores de energía. En el sector de la distribución, el monitoreo del consumo de energía eléctrica por parte de empresas distribuidoras se realiza utilizando diferentes métodos en función del sector correspondientes. Para el caso del sector residencial (vivienda y urbanismo), los medidores en este sector corresponden a medidores convencionales, es decir, medidores electrónicos sin interfaces de comunicación digital (RS-232, RS-485 o interfaz óptica) o medidores electromecánicos. La toma de lectura del consumo de energía eléctrica en este sector se realiza en un gran porcentaje manualmente, es decir, un operario toma registro visual del consumo de energía indicado en el contador (medidores electromecánicos) o display digital (medidores electrónicos) del medidor de manera presencial en la ubicación de instalación del equipo, ya que dichos tipos de medidores no poseen la posibilidad de aplicar sistemas de lectura remota, debido a la ausencia de interfaces de comunicación digital. Este método

de lectura puede generar mediciones equivocadas debido al posible error humano involucrado en la lectura. Asimismo, en el caso del sector comercial/industrial (minería, fábricas, etc.), la lectura de este tipo de medidores se realiza de manera local por medio del uso del software propietario del fabricante, así como por medio de sistemas de medición remota utilizando las interfaces seriales digitales. Dicho método de lectura local por medio de software brinda una mayor exactitud al momento de la obtención de datos, ya que la información obtenida se encuentra almacenada en la memoria no volátil de los medidores, sin embargo, aún mantiene la necesidad de desplegar personal que se encuentre ubicado en el lugar de instalación del medidor para tomar una lectura individual, lo cual implica un aumento en los tiempos de lectura y procesos de facturación de las distribuidoras de energía eléctrica. Por otro lado, la obtención de datos por medio de sistemas de medición remota se realiza por medio del uso del software propietario del fabricante del medidor para la lectura de cada dispositivo de manera individual. Sin embargo, dicho proceso no contempla la posibilidad de realizar una lectura automática de todos los medidores habilitados en el sistema de medición remota, lo cual mantiene la necesidad de realizar la lectura de cada medidor de manera individual.

En el ámbito del consumidor de energía eléctrica, los medidores electrónicos multifunción son utilizados por los usuarios finales para tareas de submedición interna, es decir, utilizan la información de los equipos para el monitoreo de su servicio de electricidad. Este método es útil, por ejemplo, al momento de disgregar el consumo eléctrico entre diversos apartamentos de un edificio, o un conjunto de oficinas de un mismo edificio [16]. Sin embargo, se mantienen las mismas limitantes que en el caso de las distribuidoras de energía eléctrica, la toma de lectura de cada medidor se realiza de manera individual y se mantiene una ausencia de un sistema de lectura automatizado.

Por ende, tanto en el ámbito comercial/industrial como en el residencial, existe la necesidad de una solución, tanto de hardware como software, que pueda obtener la información de consumo eléctrico de un conjunto de medidores de energía de manera automática, tanto para el caso de empresas distribuidoras de energía como en el caso de clientes finales para tareas de submedición. Además, los distintos fabricantes de medidores de energía industrial poseen softwares de lectura propietarios, es decir, sus dispositivos de medición solo pueden ser leídos por medio del software del mismo fabricante, por lo que no es posible la flexibilidad o la interconexión entre medidores de distintos fabricantes. Adicionalmente, debido al Decreto Supremo N°018-2016 y su modificación del año 2021, los medidores electrónicos y/o electromecánicos convencionales instalados en la actualidad serán reemplazados por medidores de tecnología AMI (Equipos con interfaces de comunicación digital RS485, RS232 y Óptica) mediante procesos piloto en las distintas distribuidoras en los subsiguientes 5 años, tanto para medidores del sector residencial como el del comercial/industrial [14], [15]

Por lo tanto, surge la necesidad de tener un sistema de medición de energía automático, que además de recolectar información del consumo energético de un conjunto de medidores, brinde la posibilidad de realizar una lectura automática de datos. Por otro lado, el uso de un sistema embebido para la implementación del sistema de medición no implica un compromiso por parte del consumidor de adquirir nueva tecnología para su uso, ya que tanto hardware como software se ofrecen en una sola unidad.

### **1.1.2. Importancia del problema a resolver**

En la actualidad, el proceso convencional de lectura de medidores de energía eléctrica consiste en la recolección de información de cada medidor de manera individual y la posterior digitación del consumo en las plataformas respectivas, dicho procedimiento se

realiza por parte del personal respectivo de manera local en la ubicación de cada medidor en campo. Este proceso genera demoras en la obtención de información, ya que debe revisarse un medidor a la vez. Además, este proceso no está exento de cometer errores, ya que, si la información recolectada no fue la correcta, se deberá enviar nuevamente a un operario para realizar una lectura correcta, además de producir un error en la facturación del consumo de energía del cliente [17]. En el ámbito peruano, según Osinergmin, entre los años 1995 y 2015, el consumo eléctrico en el Perú se incrementó drásticamente en distintos sectores. Por ejemplo, el sector minero e industrial se incrementó en 466%, el residencial en 191%, el comercial 220% y el alumbrado público 98% [6]. En base a estos números se hace evidente la necesidad de tener una adecuada gestión de la información del consumo eléctrico, así como la posibilidad de realizar una lectura automática de los datos de consumo almacenados en los medidores. El tener un control de calidad de la energía que se consume y una correcta gestión de esta [7] brinda la posibilidad de reducir tiempo y costos de operación, además de permitir a las distribuidoras de energía eléctrica y clientes finales mantener un adecuado control de su consumo energético [18].

## **1.2. Estado del arte**

En el mercado actual internacional, distintos proveedores ofrecen soluciones móviles para la lectura automática de medidores de energía eléctrica, como por ejemplo *IZAR MOBILE 2 ANDROID* brindado por la empresa alemana Diehl Metering; y *SMART TPL* ofrecido por la empresa española Solid Stack. Sin embargo, *IZAR MOBILE 2 ANDROID* está diseñado para más de 2000 medidores energéticos [19], por lo que no es eficiente utilizar

el software para una cantidad reducida de los mismo. Respecto a *SMART TPL*, es una solución de lectura manual de medidores por medio de un lector óptico, lo cual mantiene la necesidad de una lectura automática de medidores [20]. Por otro lado, los distintos proveedores internacionales también ofrecen soluciones de software, en este caso MDC (*Meter Data Collector*), para la recolección de información de medidores electrónicos multifunción, como es el caso del MDC Alphacenter [21]. Dicha solución de software posee 2 versiones, monousuario y multiusuario. La versión monousuaria se ofrece en distintos niveles que brindan capacidad de lectura de medidores multifunción en cantidades de hasta 500 puntos de medición por un valor de 26,000.00 dólares [22]. Esta versión no es alternativa para las distribuidoras de energía eléctrica, ya que manejan una cantidad mayor de medidores electrónicos multifunción con necesidad de lectura automática, lo cual se puede apreciar en la cantidad de medidores multifunción adquiridos por medio de licitaciones públicas en los últimos 4 años por parte de dichas empresas eléctricas. Sobre este punto, es posible mencionar a distribuidoras eléctricas como Electro Oriente S.A. o ElectroCentro S.A., los cuales según los últimos procesos de licitaciones públicas con el estado adquirieron una cantidad de más de 2000 medidores multifunción de energía eléctrica respectivamente. Con respecto a la versión multiusuario, el nivel con medidores ilimitados para lectura automática es una posible solución para las distribuidoras, sin embargo, dicha versión no solo brinda la posibilidad de lectura de medidores de energía eléctrica, sino también otros medidores de energías industriales como medidores de gas, agua o calor [21], por lo que no sería eficiente el uso de dicho MDC para la cantidad y tipo de medidores a recopilar la información.

En el ámbito peruano, los proveedores de soluciones de software ofrecen alternativas para medir el consumo eléctrico de los usuarios de energía eléctrica, además de asesoría en el funcionamiento. Sin embargo, no se tiene una solución para una lectura automática de

medidores de energía eléctrica, y el envío de la información ya sea local o a servidores externos, de manera que tanto las concesionarias eléctricas como lo usuarios finales puedan tener un control de su consumo de energía eléctrica.

Independientemente de la alternativa que se utilice, los sistemas automáticos de medición de energía realizan 3 tareas, los cuales son: Medición de la energía, Envío de la información, y Gestión y procesamiento de datos. El proceso para realizar las tareas mencionadas se realiza por medio de una Infraestructura de Medición Avanzada (*AMI – Advanced Metering Infrastructure*) [13], [1], [14]. El sistema se basa en tres componentes principales: Unidades de recolección de datos, Redes de comunicación, y Centro de gestión y control [13].

La recolección de información de consumo (en nuestro caso eléctrica) correspondiente al bloque “Unidad de recolección de datos”, puede realizarse mediante el uso de medidores o placas de desarrollo basadas en microcontroladores [23], [24], [25]. Debido a la regulación peruana supervisada por el área de metrología legal del Instituto Nacional de Calidad – INACAL [26], los equipos de medición de energía (Electricidad, agua o gas) con fines de facturación de consumo deben encontrarse debidamente homologados y/o certificados ante el Instituto Nacional de Calidad – INACAL para su uso. Esto debe ser verificable dentro del portal de la propia institución [26], [27], [28] . Debido a lo antes mencionado, las empresas distribuidoras de energía eléctrica tienen como obligación debido a ley el uso de medidores, ya sea electrónico multifunción o convencionales, para sus procesos de recolección de energía y posterior facturación al cliente. Además, debido a las diversas funciones que poseen con respecto a la gestión de energía y recolección de información [7], [10], [9], se realiza la lectura de consumo de energía por medio de medidores multifunción en lugar de placas de desarrollo. Por otro lado, el uso de estas

últimas implica la adquisición de equipos adicionales para un correcto funcionamiento y no dañar el dispositivo de medición [24] [29] [30].

Respecto al bloque de “Redes de comunicación”, encargado de brindar la infraestructura y protocolos necesarios para el envío de la información, es posible utilizar distintas tecnologías, las cuales se pueden agrupar en 3 tipos: Tecnología Inalámbrica (*Wireless Technologies*), Tecnología Cableada (*Wire – Line Technologie*), y PLC (*Power Line Communication*) [31]. Con respecto a la tecnología cableada, existen distintos tipos de conexión física compatibles con los medidores multifunción, como RS-485, RS-232. De los mencionados, el uso de RS-485 brinda alta velocidad de transmisión y una gran longitud de línea de comunicación [32], sin mencionar que brinda una solución confiable para la transmisión de datos en entornos ruidosos [1]. Por otro lado, tiene la capacidad de conectar hasta de 256 dispositivos de transmisión y recepción [33], lo cual supera ampliamente a la capacidad máxima de 10 dispositivos del RS-422 [1]. Con respecto a las tecnologías inalámbricas, existen estándares como: Zigbee, Wavenis, Bluetooth, Wifi, Wimax, GPRS/GSM, red celular 3G/4G, etc [31]. Cada tecnología posee diferentes características como velocidad de transmisión, ancho de banda, y cantidad de dispositivos. Además, brindan soluciones de bajo costo para transmisión de información. Por otro lado, además del medio que se utilice para la conexión física, es necesario tener un protocolo de comunicación, de otro modo la información no será recibida correctamente. Existen distintos protocolos de comunicación compatibles con medidores multifunción como son: DLMS, EURIDIS, M – BUS, SML, etc.[31]. De los mencionados, el protocolo DLMS simplifica en gran medida el proceso de lectura, ya que permite la recolección de información de consumo de medidores multifunción de distintos fabricantes [31]. Por otro lado, el protocolo M-BUS (*Meter Bus*) es usado principalmente para comunicación bidireccional con medidores de gas, agua y calor. Es

un protocolo optimizado desde el punto de vista del medidor, ya que permite una implementación de bajo costo y larga vida de batería [31].

Para el bloque de “Centro de recolección y control”, el cual se encarga de recibir los datos de consumo y gestionar la información por medio de los softwares propietarios, se utilizan placas de desarrollo como Raspberry Pi, Arduino, etc. o sus respectivos microcontroladores y microprocesadores [23]. Por otro lado, los proveedores de softwares MDC (*Meter Data Collector*) requieren de hardware necesario para el alojamiento de sus sistemas, como servidores físicos o servidores alojados en la nube. Dichos servidores y/o máquinas virtuales cumplen la función de “Centro de recolección y control”. Un ejemplo de lo antes mencionado es el caso del MDC Alphacenter, el cual requiere de servidores con capacidades de cómputo (Memoria RAM, Memoria interna no volátil, etc.) específicas [21], [22]. Por otro lado, distintos proveedores de ofrecen soluciones para la gestión de datos recolectada de los medidores, como es el caso de los mencionados *IZAR MOBILE 2 ANDROID* [19], *SMART TPL* [20] y *DYNAMAT* [34], los cuales además de brindar los medidores de energía, ofrecen los softwares necesarios para la gestión de información.

### **1.3. Justificación**

La implementación de dichos sistemas inteligentes se ha realizado en diversos países a distintos niveles, como ejemplo tenemos el caso de Noruega, país en el cual en el 2010 se instalaron medidores multifunción en el 11% de las viviendas. Los resultados fueron los esperados, ya que el 84% de los consumidores consideraba positivo el uso de esta tecnología debido a la confiabilidad, gestión, acceso a información y sobre todo el reporte automático del consumo eléctrico [8]. Por lo tanto, para el presente trabajo de tesis se utilizará un medidor multifunción de medición de energía eléctrica poder realizar la

recolección de información y su posterior procesamiento de datos, debido a la necesidad de utilizar equipos de medición homologados y las regulaciones vigentes brindadas por INACAL mencionadas previamente [26], [27], [28]. Por otro lado, se utilizará un medidor multifunción debido a las ventajas que este hardware presenta en términos de medición y transmisión de información. El medio de comunicación será conexión cableada, y se utilizará el estándar RS-485 para la conexión física, ya que brinda una solución confiable en la transmisión de largas distancias y entornos ruidosos [1]. Se considera el uso del protocolo de comunicación DLMS/COSEM, ya que es un protocolo compatible con el medidor multifunción que se utilizará, además de su capacidad de extraer información de distintos fabricantes de medidores [35]. Esto resalta la importancia de este protocolo debido a que en el mercado de la energía eléctrica se requiere de una gran cantidad de información de los medidores de energía para que las estimaciones de gasto y el proceso de facturación sean lo más certeros posible [35]. Por otro lado, el Centro de Gestión y Control de datos se implementará en un servidor alojado en la nube, el cual, mediante la conexión a una base de datos, también alojada en la nube, permitirá recolectar la información de consumo de los medidores almacenada en la base de datos y presentarla al usuario por medio de una interfaz visual.

Finalmente, se contará con un sistema embebido que se conectará a los medidores multifunción para posteriormente enviar la información de consumo de cada medidor hacia la base de datos y su posterior visualización.

## **1.4. Objetivos**

Se presenta el objetivo principal y los objetivos específicos del trabajo de tesis.

### **1.4.1. Objetivo Principal**

El objetivo del presente trabajo de tesis es desarrollar e implementar un prototipo de sistema embebido de lectura, almacenamiento y presentación de datos en la nube del consumo eléctrico registrado por medidores multifunción de energía eléctrica de protocolo abierto conectados por medio de un único bus de comunicación serial, de manera que el usuario o encargado de recolección de información pueda tener acceso al consumo eléctrico registrado por cada medidor. Además, se requiere que el sistema brinde una solución en hardware y software en conjunto, de manera que no sea necesaria la inversión en hardware adicional y/o software propietario para su correcto funcionamiento.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

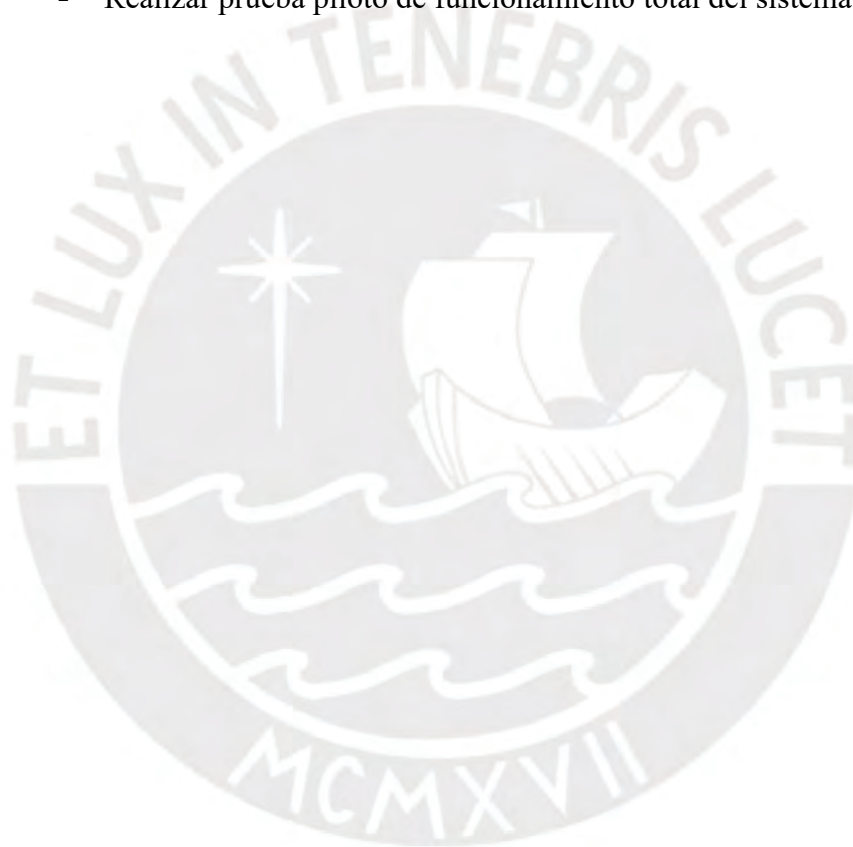
- ❖ Diseño de Sistema Embebido
  - Selección e implementación de unidad de control e interfaces de comunicación.
  - Definición de conexiones entre sistema embebido y medidores multifunción.
  - Programación de unidad de control.
- ❖ Diseño de Red de comunicación
  - Selección de tecnología y módulo de comunicación.
  - Integración de sistema embebido y módulo de comunicación.
- ❖ Diseño de Centro de Gestión y Control

- Implementación de base de datos y servidor en la nube para recepción de información.
- Diseño de interfaz de visualización de información.

❖ Integración de sistemas

❖ Pruebas de funcionamiento

- Obtener comunicación entre sistema embebido y medidor multifunción por medio de protocolo DLMS/COSEM.
- Realizar prueba piloto de funcionamiento total del sistema



## **2. Marco teórico y modelo de solución**

El sistema propuesto puede ser dividido en 3 etapas, las cuales son: Unidades de recolección de datos, Red de comunicación, y Centro de gestión y control. Por lo tanto, el presente capítulo se divide en estas 3 etapas, en las cuales se describe los conceptos y principios de funcionamiento de los elementos correspondientes a cada etapa.

### **2.1. Unidad de recolección de datos**

El proceso de recolección de información del consumo eléctrico se realizará por medio de un medidor electrónico multifunción, cuyas características y especificaciones se explican a continuación.

#### **2.1.1. Medidor multifunción**

Un medidor multifunción es un dispositivo de medición de energía que recolecta y almacena la información de consumo de energía correspondiente a la red a la cual se encuentran conectados, la cual puede ser eléctrica, agua o gas. La principal característica que lo diferencia de un medidor de energía convencional es su capacidad de transmitir la información recolectada por medio de diferentes medios de comunicación, ya sean inalámbrica o alámbrica [7]. Por otro lado, a diferencia de los medidores convencionales, los medidores multifunción realizan el cálculo de la energía consumida de manera más exacta debido al uso de microprocesadores, memorias no volátiles y registros internos que poseen, lo cual permite una mayor exactitud en la información recolectada por el medidor [35]. Estos dispositivos son configurables para su funcionamiento, por lo que es posible definir un modo de funcionamiento específico en base a los requerimientos del usuario. Cabe mencionar que estos dispositivos, ya que son de uso doméstico, residencial o comercial/industrial, se encuentran debidamente homologados y certificados ante INACAL [27], [28] para asegurar al cliente un correcto funcionamiento [28].

Las características y especificaciones técnicas como, niveles de tensión permitidos, métodos de cálculo de energía, capacidad máxima de cargas a medir, protocolos de comunicación, etc. Dependen del fabricante del medidor, por lo que es necesario tener conocimiento de los manuales técnicos para un adecuado funcionamiento.

## **2.1.2. Medidor Multifunción de Energía Eléctrica**

El medidor por utilizar en el presente trabajo de investigación corresponde a un medidor de energía eléctrica, el cual tiene la posibilidad de no solo realizar el cálculo de los parámetros eléctricos, sino también la transmisión de información de dichos datos. Este dispositivo utiliza métodos de cálculo matemáticos para obtener los valores de consumo energético y los demás parámetros eléctricos. Dichos métodos de cálculo son explicados a continuación.

### **2.1.2.1. Medición y cálculo de energía eléctrica**

El diseño electrónico interno de un medidor multifunción de energía eléctrica puede variar dependiendo del fabricante. Sin embargo, el principio de funcionamiento de recolección de datos, así como la arquitectura interna del medidor, poseen módulos indispensables para un adecuado funcionamiento, independientemente del fabricante. El proceso inicia con la reducción en magnitud de tensiones y corrientes de entrada por medio de transformadores (Internos o Externos). Las señales obtenidas ingresan a un ADC (Analog – Digital Converter) para obtener valores digitales de las señales de voltaje y corriente. Una vez obtenidos los valores digitales, se ingresan a un Digital Signal Processor (DSP) o Procesador de Señales Digitales, el cual se encarga de realizar el

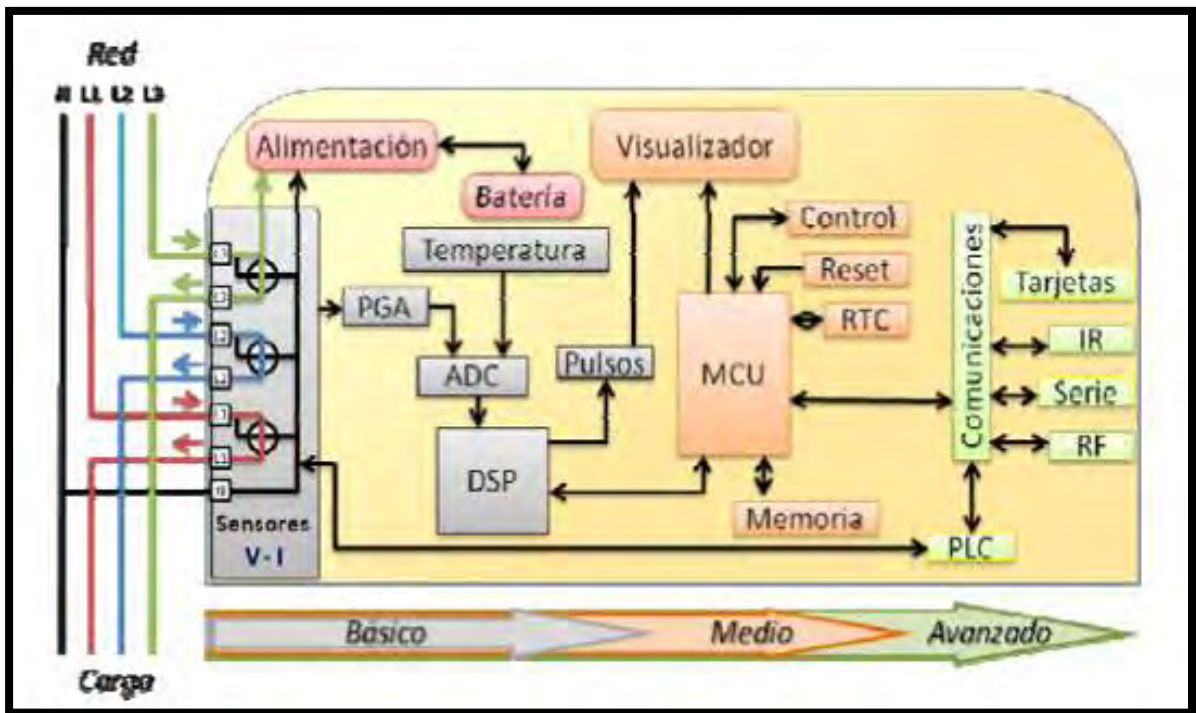


Figura 1. Arquitectura interna Medidor Multifunción [36]

cálculo de los valores correspondientes de potencia, energía y los demás parámetros eléctricos, que luego serán almacenados en una memoria no volátil. Una vez obtenidos los valores de los parámetros eléctricos necesarios, dichos valores ingresan a una Unidad de Microcontrolador, dicha unidad se encarga de enviar la información por los medios de comunicación disponibles, los cuales pueden ser comunicación serial, inalámbrica, por lectura óptica, etc. [36], [37], [38], [7].

Una vez obtenidos los valores correspondientes, se almacenan en los registros del medidor para su posterior lectura.

## 2.2. Red de comunicación

En el siguiente apartado se explicará la teoría relacionada a la red e interfaces de comunicación disponible para medidores multifunción, sus principios de funcionamiento y modos de implementación.

## **2.2.1. Interfaces de comunicación**

A continuación, se describirá la teoría relacionada a los medios físicos de comunicación disponibles en medidores multifunción de energía eléctrica, como pueden ser RS-485, RS-232, entre otras.

### **2.2.1.1. Interfaz RS-485**

El estándar RS-485 define esquemas de transmisión balanceados que brindan soluciones robustas para la transmisión de datos en entornos ruidosos. La principal característica del estándar RS-485 radica en que es un bus de comunicación de transmisión diferencial, es decir, la información que se transmite y recibe corresponde a la diferencia de tensión entre los dos cables (En el caso de half-duplex), como se observa en la Figura 2. Este método de transmisión de información brinda protección frente interferencias electromagnéticas, ya que, de presentarse dichas interferencias, afectará a ambas líneas de tensión por igual, por lo que la diferencia de tensión se mantiene en su valor, y por tanto el valor de la información. Es posible implementar una comunicación full-duplex o half-duplex, utilizando 4 o 2 cables para la conexión respectivamente. En el caso de half-duplex se utiliza un par de cables para la transmisión y recepción de datos. Por otro lado, en el full-duplex, se tienen 2 pares de cables, un par para la lectura de datos del dispositivo y otra para enviar datos al dispositivo, por lo que es posible recibir y enviar datos en un mismo

instante de tiempo. Cabe mencionar que la topología full-duplex tiene el mismo principio de funcionamiento que la de half-duplex [1].

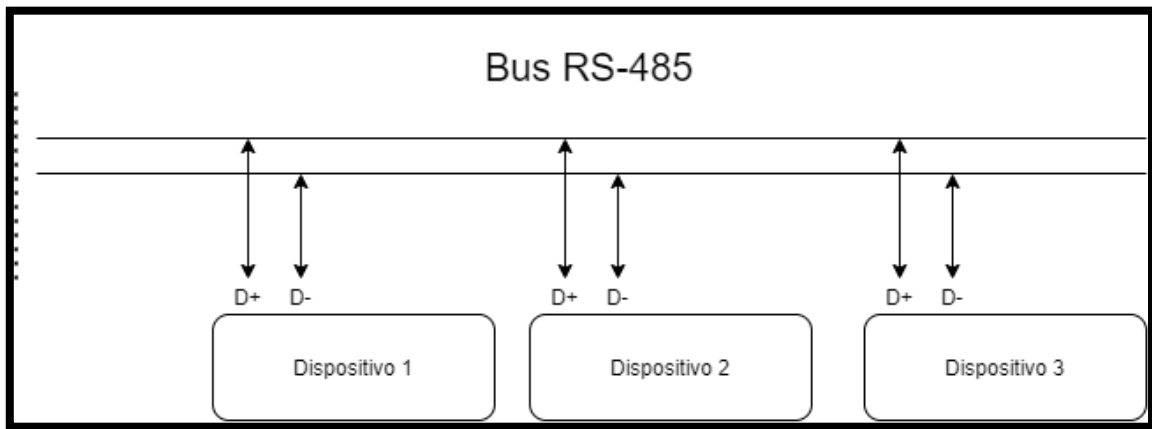


Figura 2. Esquemático RS-485 Half-Duplex. Fuente Elaboración Propia

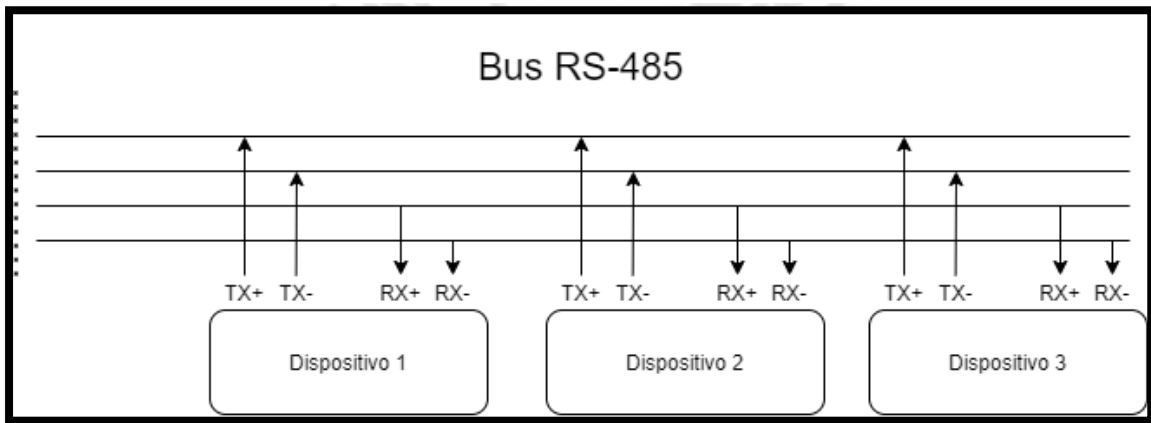


Figura 3. Esquemático RS-485 Full-Duplex. Fuente Elaboración Propia

A continuación, se muestra la relación entre longitud del cable y velocidad de comunicación del estándar RS-485.

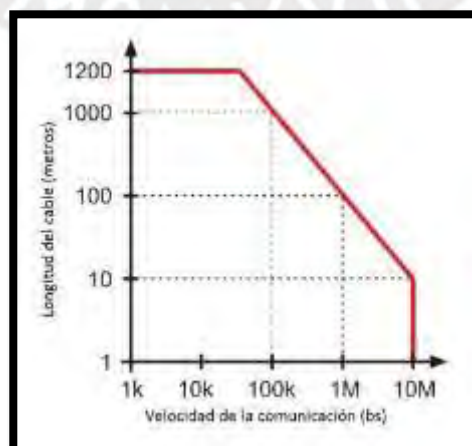


Gráfico 1. Velocidad - Distancia [1]

Como se observa en el gráfico, la velocidad de transmisión está en función de la longitud del cable por el cual se transmitirá la información, donde la menor velocidad es de 10Kbps con una distancia de 1200 metros, y la mayor velocidad de transmisión posible es de 10 Mbps con una distancia de 10 metros o menos [1].

### **2.2.1.2. Interfaz RS-232**

La interfaz de comunicación RS-232 define un estándar para comunicación serial entre 2 dispositivos (punto a punto). Se utiliza para realizar la comunicación entre un equipo terminal o transmisor de datos (DTE o Data Terminal Equipment) y un equipo receptor u otro equipo de comunicaciones (DCE o Data Circuit – Terminal Equipment) [39]. A diferencia del RS-485, el estándar RS-232 no maneja niveles TTL de voltaje (5V y tierra), ya que un nivel en alta representa un nivel de voltaje entre +5 V y +15 V, mientras que un nivel en baja representa un nivel de voltaje entre -5 V y -15 V. Sin embargo, existen conectores y circuitos integrados encargados de regular los voltajes de RS-232 a niveles TTL. Por otro lado, tiene una velocidad de transmisión máxima de 20 Kbps, considerando un alcance máximo 15 metros, con una distancia mayor la comunicación no se realiza correctamente [40] [41].

### **2.2.1.3. Interfaz Ethernet**

La interfaz de conexión Ethernet es un estándar de comunicación que permite la conexión entre diversos dispositivos en una red de área local (LAN – Local Area Network) o una red de área amplia (WAN – Wide Area Network). La conexión es alámbrica utilizando un conector RJ45 [42]. La interfaz de comunicación Ethernet por medio del conector RJ-45 permite a los medidores multifunción conectarse a redes de comunicación que cuenten con puntos de acceso disponibles, como por ejemplo en el caso de redes de fibra óptica. Esta característica brinda al dispositivo la posibilidad mantenerse conectado a la red del

usuario o cliente con un alto porcentaje de confiabilidad. Debido a que en esta red es posible transmitir mensajes a altas frecuencias, la red utiliza un método de multiplexación y banda base para enviar la información a los distintos dispositivos. Inicialmente la tecnología Ethernet brindaba una velocidad de transmisión 10 Mbps. En la actualidad las redes Ethernet brindan velocidades de 10 Mbps o 100 Mbps, en función del dispositivo que se conecte a la red [43]. La conexión física utiliza uno o 2 pares de cables trenzados, implementados en un conector RJ-45.

#### **2.2.1.4. Comunicación inalámbrica**

Con respecto a comunicación inalámbrica, los distintos fabricantes de medidores multifunción brindan la posibilidad de incluir módulos de comunicación propietarios de sus equipos, los cuales pueden funcionar sobre la base de distintas tecnologías de comunicación.

Los medidores multifunción brindan la posibilidad de incluir o adaptar un módulo de comunicación inalámbrico. Dentro de las tecnologías más comunes se encuentra la tecnología de red celular 4G/3G o GSM/GPRS y comunicación por radio frecuencia RF [31]. Para el uso de una red de comunicación basado en la red celular de los diferentes operadores de telefonía, es necesario contar con un equipo terminal capaz de brindar conectividad a los medidores multifunción. Con este objetivo se utilizan equipos terminales móviles o módems de comunicación 4G/3G que brinden conectividad a los medidores multifunción. Los módems de comunicación pueden ser del tipo modular o incorporado en el propio medidor multifunción. Dichos dispositivos, dependiendo del fabricante, poseen interfaces de comunicación serial (RS-485, RS-232, RJ-45, etc.) para poder comunicarse con los medidores multifunción, y por medio de la red celular, conectarse a la red WAN del cliente. Además, el uso de equipos terminales móviles que

utilizan el espectro radioeléctrico requiere, por normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la certificación u homologación ante dicho ministerio del dispositivo para su instalación y uso [44]. Por otro lado, debido a la posibilidad del uso de una interfaz eléctrica como RS-485 o RS-232, es posible tener mayor versatilidad en la implementación de sistemas de comunicación inalámbrica, e implementar sistemas basados en Zigbee, Wavenis, Bluetooth, etc [31].

### **2.2.1.5. Análisis de tecnologías de comunicación**

De los medios de conexión mencionados disponibles para medidores multifunción, se escogerá la conexión cableada por RS-485, principalmente debido a la fiabilidad en la transmisión de información a largas distancias gracias a su modelo de comunicación diferencial. Además, a diferencia de la comunicación por RS-232, es posible implementar la comunicación por RS-485 para más de un dispositivo en un mismo bus de datos. La velocidad de transmisión es otro parámetro importante para tener en cuenta, ya que la conexión con RS-485 puede llegar a una velocidad de 10 Mbps en 10 metros, mientras que el RS-232 solo transmite hasta 20 Kbps en 15 metros. Al comparar con la conexión por tecnología Ethernet, este medio físico requiere del uso de switches y terminales para la interconexión de distintos dispositivos, hecho que no ocurre con conexión RS-485 ya que todos se conectan al mismo bus de conexión. Respecto a la velocidad de transmisión, ambas tecnologías pueden llegar a velocidades de 10 Mbps. Sin embargo, se prefiere la conexión por RS-485 ya brinda resistencia al ruido o interferencia gracias a su bus de transmisión diferencial.

## **2.2.2. Protocolo de comunicación**

Además del medio de comunicación que se use, ya sea alámbrica o inalámbrica, es necesario contar con un protocolo adecuado de comunicación con los medidores multifunción, de tal manera que cumpla con las necesidades que se buscan.

### **2.2.2.1. DLMS/COSEM**

El protocolo DLMS/COSEM es un estándar de comunicación para la interoperabilidad entre medidores de energía. Define los protocolos y el modelo de interfaz para la conexión con medidores multifunción ya sean de agua, electricidad o gas. El protocolo utiliza una interfaz de comunicación orientada a objetos, así como el uso de código OBIS para la selección inequívoca de cada uno de los objetos [35], [12]. Es necesario que el medidor tenga el hardware necesario para utilizar el protocolo, de otro modo no es posible utilizarlo. El protocolo DLMS/COSEM utiliza 3 etapas para realizar la comunicación [4], las cuales son:

- ✓ Modelo: Esta etapa define el modelado de la información en el dispositivo de medición, así como su identificación dentro del mismo dispositivo.
- ✓ Mensaje: Contempla la codificación de las unidades de datos a enviar.
- ✓ Transporte: Finalmente, esta etapa define el transporte de los mensajes a través del canal de comunicación escogido.

Este protocolo sigue la siguiente estructura jerárquica: Dispositivo Físico, Dispositivo Lógico, Objetos [35]. El dispositivo físico corresponde al medidor multifunción, al cual se le atribuye una única dirección de servidor. Dentro de un dispositivo físico pueden existir distintos dispositivos lógicos cada uno con su correspondiente dirección lógica, y debe contener como mínimo uno encargado de la gestión del dispositivo. Finalmente, cada dispositivo lógico contiene todos los objetos necesarios en su interior, con sus

correspondientes atributos, métodos e identificador en formato de código OBIS, es decir, en cada uno de los objetos se encuentra la información correspondiente a la medición de energía eléctrica [35].

Además del protocolo DLMS/COSEM, existen otros protocolos diseñados para lectura de medidores multifunción como IEC o ANSI. Sin embargo, se utilizará el protocolo DLMS/COSEM ya que brinda capacidad de interoperabilidad entre medidores multifunción de diferentes fabricantes [45].



## 2.3. Centro de Gestión y Control

En el siguiente apartado se explica los conceptos relacionados a las características y funciones de un sistema embebido, el cual en conjunto con servidores ubicados en la nube cumplirán la función del Centro de gestión y Control.

### 2.3.1. Sistema embebido

Existen diferentes definiciones para sistemas embebidos, sin embargo, todas coinciden en características específicas.

Se define un sistema embebido como cualquier dispositivo electrónico con la capacidad de realizar procesos de cómputo para cumplir con una tarea específica [46], a diferencia de las computadoras o sistemas de propósito general que están diseñados para manejar y administrar una mayor cantidad de tareas [47], [48].

Las principales características que definen a un sistema embebido se mencionan a continuación [46]:

- ✓ Funcionamiento específico. Un sistema o dispositivo embebido realiza una tarea o conjunto de tareas específicas de manera repetitiva.
- ✓ Tiempos de respuesta fijos. Los sistemas embebidos deben ser capaces realizar las tareas de cómputo asignadas en los tiempos específicos, ya que muchos de estos sistemas realizan tareas críticas, por lo que una falla en el tiempo de ejecución de alguna tarea puede tener consecuencias graves.
- ✓ Bajo consumo. Los sistemas embebidos utilizan hardware de bajo consumo para reducir los requerimientos de energía en el funcionamiento del dispositivo.
- ✓ Parte de un sistema mayor. Generalmente, los sistemas embebidos cumplen o realizan una función específica dentro de un sistema mayor. Por ejemplo, en la

industria automotriz, existen diversos sistemas embebidos que se encargan cada uno de la localización, información del vehículo, ajuste de velocidad, etc.

Los sistemas electrónicos embebidos pueden utilizar diferentes módulos para cumplir con la tarea específica deseada. Sin embargo, deben cumplir como mínimo con los módulos mencionados a continuación para realizar sus funciones [49].

### **2.3.1.1. Microprocesador**

Un microprocesador es un dispositivo programable encargado de buscar, decodificar y ejecutar instrucciones de código con el fin de realizar una tarea. Es el módulo principal de un sistema embebido, ya que es el encargado de controlar los diferentes recursos de todo el sistema, como las interfaces de entrada y salida, memorias, puertos de comunicación, etc. Se define un microprocesador con el término LSI (Large Scale Integration), lo cual es una tecnología que permite integrar varios miles de transistores en un único circuito integrado [46]. Por lo general, las velocidades en los microprocesadores de sistemas embebidos se encuentran en el orden de los MHz. Poseen una unidad de memoria la cual se encarga almacenar el programa que se ejecutará [47].

### **2.3.1.2. Unidad de Memoria**

La unidad de memoria en un sistema embebido es la encargada de almacenar la información o estados del proceso correspondientes a las instrucciones y tareas que se ejecutan [46], [49]. La memoria dentro de un sistema embebido se puede definir en 2 tipos, la memoria volátil y la memoria no volátil. La memoria volátil o memoria RAM es la encargada de almacenar la información que utiliza el microprocesador cuando ejecuta el programa. Es un parámetro muy importante ya que brinda una idea de cuanta información puede manejar el sistema embebido mientras ejecuta los programas respectivos [49]. Es en esta memoria en donde se almacena los valores de las variables al ejecutar un programa. Sin

embargo, es necesario que el sistema se encuentre energizado para que la información se mantenga almacenada en este tipo de memoria.

Por otro lado, la memoria no volátil o memoria Flash, es la unidad de almacenamiento que utilizan los sistemas embebidos para guardar información correspondiente al programa que se ejecutará así como los datos que necesitan mantenerse si el sistema no está energizado [46].

### **2.3.1.3. Interfaces de entrada y salida**

En un sistema embebido, las interfaces de entrada y salida cumplen la función de interacción entre el usuario y el sistema. Las interfaces de entrada pueden ser definidas mediante teclados, pulsadores, interruptores, etc. Mientras que las de salida se pueden definir por alarmas, indicadores visuales, etc. De este modo, es posible enviar comandos, señales y conocer el estado de los sistemas.

### **2.3.1.4. Frecuencia de reloj**

Es un parámetro que indica la cantidad de oscilaciones de la señal de reloj en una unidad de tiempo. Su unidad es el Hertz. Para los sistemas embebidos, indica cuántas instrucciones puede ejecutar el microprocesador en una unidad de tiempo, por lo general, se mide en instrucciones por segundo [49].

### **2.3.1.5. Módulo de comunicación**

Además de las características mencionada previamente, un sistema embebido puede tener la capacidad de comunicarse a servidores y terminales adicionales ya sea por medio de comunicación alámbrica, como por ejemplo PLC (*Power Line Communication*), así como por medio de comunicación inalámbrica, como son el caso de red celular 2G/3G/4G, Sigfox, LoRa, etc.

El uso de red celular por medio de tecnologías 2G/3G/4G brinda conectividad al sistema embebido a través de la red celular del operador respectivo. En el caso del Perú, los operadores como Claro, Movistar, Entel o Bitel son los que brindan la mayor cobertura en conectividad en territorio peruano, por medio del uso de diferentes bandas de frecuencia [50].

### **2.3.1.6. Software del sistema**

Además de los módulos mencionados, el sistema embebido que se utilizará debe contar con un software o programa, el cual contiene las instrucciones o comandos a ejecutar por el microprocesador. El programa contiene los algoritmos necesarios para establecer la comunicación desde el sistema embebido, por medio de los periféricos respectivos, hacia el medidor multifunción y viceversa. Además, el programa también permite al microprocesador interactuar con el módulo de comunicación respectivo para transmitir la información recolectada de los medidores multifunción.

#### **2.3.1.6.1. Componente GuruX**

GuruX Ltd. [51] es una organización que brinda herramientas y componentes de software para la conexión y lectura de medidores multifunción, ya sean de electricidad, agua o gas [35]. Los componentes brindados por la organización (Bibliografía, librerías, ejemplos, etc.) están basados en el uso del estándar DLMS para la comunicación con los medidores multifunción. Todas las herramientas que se ofrecen son de código abierto, es decir, es posible utilizarlas y adaptarlas dependiendo de las necesidades que requiera nuestro proyecto. Por otro lado, debido a que ofrece componentes de software en diversos lenguajes de programación, ya sea C, C++, Python, Java, etc. Brinda gran versatilidad al momento de escoger un lenguaje específico que se ajuste a las necesidades y requerimientos de nuestro sistema embebido.

Independientemente de la herramienta que se utilice, el proceso de conexión y lectura del medidor sigue las siguientes etapas [51]:

✓ Solicitud AARE:

Es el primer comando que se envía al dispositivo. Le indica si se usará autenticación para la conexión y si se debe usar una referencia de nombre largo o corto. La respuesta del medidor es analizada con el método "ParseAAREResponse" y se devuelve una colección de etiquetas correspondientes al medidor. La conexión se realiza si los parámetros obtenidos son los correctos. Luego de este proceso, es posible observar todos los objetos que posee el medidor.

✓ Association View:

La Vista de Asociación (Association View) describe todos los objetos que puede ofrecer el medidor y se solicita utilizando el método GetObjects. Una vez realizada la solicitud, el método devuelve los objetos DLMS para realizar la lectura.

✓ Lectura de objetos

Una vez se cuente con los objetos disponibles, se realiza la lectura de la información requerida utilizando el método de lectura brindado en el componente.

✓ Desconexión

Finalmente, se debe enviar un comando de desconexión o cierre de sesión, ya que, de no hacerlo, se obtendrá un error en el inicio de sesión la próxima vez que se desee conectar con el medidor.

### **2.3.2. Servidores y Base de Datos**

Según como se mencionó previamente, además del sistema embebido encargado de la interconexión con los medidores multifunción y la recolección de información, es necesaria una interfaz de visualización de los datos recolectados por cada medidor correspondiente a kWh, kVARh, kW, kVAR y demás parámetros eléctricos obtenidos del medidor. Además, toda esta información debe ser almacenada en una base de datos para posteriormente consumir dicha data y presentarla al usuario o encargado de la lectura. Para este fin, se hará uso de una base de datos ubicada en una plataforma IoT en la nube, la cual será encargada de almacenar y organizar los datos de consumos de cada medidor multifunción conectado al sistema embebido.

Por otro lado, es necesaria una capa de presentación por medio de la cual el usuario encargado de la lectura sea capaz de visualizar la información. Con este objetivo, además de la base de datos, la plataforma IoT también alojará un servidor en la nube el cual mantendrá en ejecución una aplicación, la cual al ser consultada por el usuario por medio del protocolo HTTP, recolectará y gestionará la información almacenada en la base de datos para finalmente presentarla al usuario en una vista HTML.

## 2.4. Integración de sistema

Finalmente, se presenta una vista integrada de todo el sistema a desarrollar.

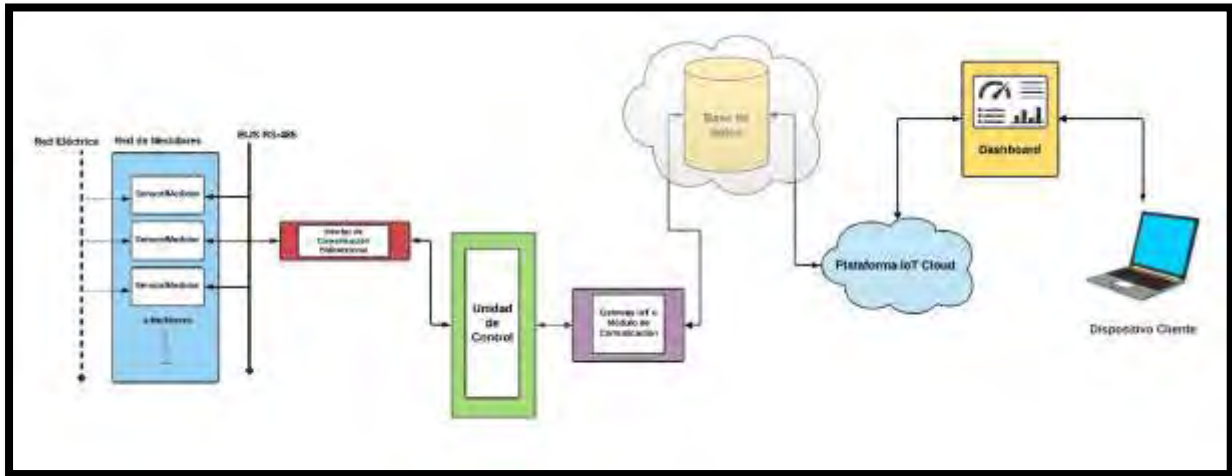


Figura 4. Sistema de lectura de medidores integrado. Fuente Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 4, los medidores multifunción recolectan y almacenan la información correspondiente al consumo energético del usuario correspondiente. Toda la información es enviada a través de un bus de comunicación diferencial bidireccional entre los medidores y el sistema embebido, en este caso a la interfaz de comunicación del sistema embebido y posteriormente a la unidad de control. Paralelamente, este bus de comunicación será utilizado por la unidad de control, por medio del protocolo DLMS/COSEM, para enviar los comandos necesarios a los medidores, los cuales se encargarán de iniciar sesión con los medidores, extraer la información y finalmente cerrar la comunicación con los medidores. Por otro lado, la unidad de control enviará la información obtenida de los medidores multifunción al Gateway IoT o módulo de comunicación, el que será encargado de enviar la información a la base de datos ubicada, en este caso, en la nube. Adicionalmente, se cuenta con una plataforma en la nube que contará con un servidor virtual en el cual mantendrá en ejecución una aplicación que consumirá la información correspondiente de la base de datos para presentarla en una capa de visualización en formato HTML. Finalmente, dicha vista será accesible por medio

de un terminal o host que se conecte al servidor virtual para poder presentar la información al usuario. De esta forma, el usuario puede realizar la solicitud correspondiente de información por medio del terminal host a la plataforma en la nube, esta a su vez consumirá la información de la base de datos y devolverá al usuario la información solicitada por medio de una vista HTML.



### **3. Diseño e implementación**

El presente capítulo tiene como objetivo realizar el diseño e implementación del prototipo a utilizar para la ejecución del presente trabajo de tesis. Se realizará una breve descripción del diagrama de bloques propuesto para el presente sistema. Luego, se realizará un análisis de las alternativas de solución existentes para cada etapa tomando en consideración los parámetros necesarios, así como la futura integración del sistema, para luego presentar la propuesta de solución del diseño del sistema.

A continuación, se describirá las especificaciones y requerimientos que debe cumplir el sistema propuesto en los capítulos anteriores. Por otro lado, se disgregará el sistema en diversos bloques y/o tareas, para realizar un análisis de los componentes y equipos más adecuados a seleccionar para cada una de ellas. Finalmente, se realizará un diseño completo de cada etapa.

#### **3.1. Requerimientos y especificaciones del sistema**

Se realiza un listado de las tareas y funcionalidades que debe cumplir el presente trabajo:

- Conectar medidores multifunción a un único bus de comunicación bidireccional de transmisión de información por medio de tecnología RS-485.
- Mostrar todos los datos o grupo de datos recolectados por medidor multifunción al usuario final por medio de una interfaz web.
- Sistema capaz de diferenciar entre los distintos medidores multifunción conectados a un mismo bus de transmisión de datos.
- Almacenar información de consumo y lecturas en base de datos ubicada en plataforma en la nube.
- Datos por visualizar a selección del usuario por medio de interfaz web.

## 3.2. Diagrama de bloques del sistema

Se muestra el diagrama de bloques de todo el sistema, con el objetivo de disgregar las tareas y funciones específicas.

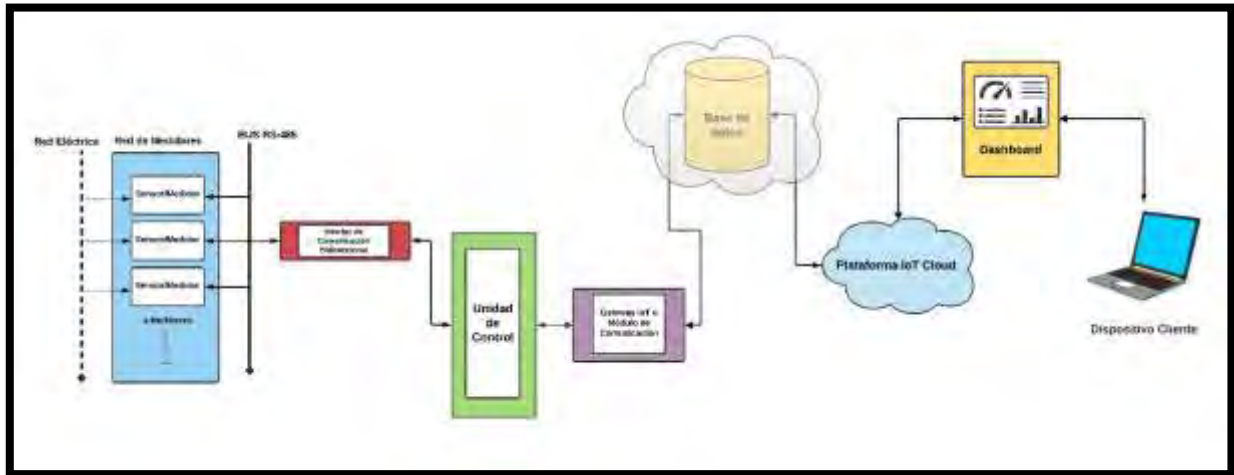


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema

## 3.3. Requerimientos y Alternativas de solución por bloque

A continuación, se realizará un análisis de los requerimientos de cada etapa o bloque funcional del sistema, con el objetivo de posteriormente proponer la alternativa de solución que cumpla las especificaciones mencionadas anteriormente.

### 3.3.1. Bloque Red de Medidores

El bloque de Red de Medidores tiene como finalidad recolectar y almacenar la información correspondiente al consumo eléctrico, para que dicha información pueda ser leída y mostrada al usuario final. Como ya se mencionó en el capítulo 1 y 2, para el presente bloque se utilizarán medidores multifunción de energía eléctrica habilitados con el protocolo DLMS/COSEM para realizar la lectura del consumo eléctrico y de potencia del usuario. Se utilizarán dichos dispositivos ya que son equipos de alta confiabilidad y que además son dispositivos debidamente certificados para poder ser utilizados en el mercado peruano. [35].

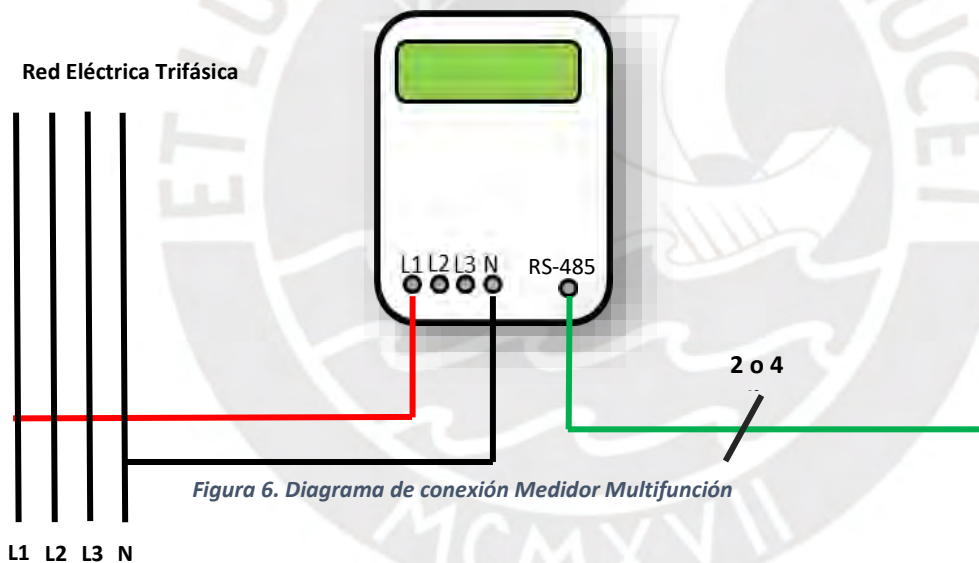
### 3.3.1.1. Requerimientos de diseño

A continuación, se listan los requerimientos del bloque de red de medidores:

- Medidores multifunción con salida digital RS-485 habilitada (2 o 4 hilos)
- Alimentación por medio de red eléctrica trifásica 220/380V @ 60Hz
- Protocolo DLMS/COSEM habilitado para transferencia de datos.

### 3.3.1.2. Alternativas de solución y selección

Como ya se mencionó, se hará uso de medidores trifásicos multifunción para la etapa de diseño y pruebas de funcionamiento. Además, dichos dispositivos cuentan con las características mencionadas anteriormente en los requerimientos.



El medidor multifunción por utilizar se energizará conectando las borneras de tensión a una red eléctrica trifásica 220/380 VAC @ 60Hz. Se conectará el medidor a un banco de pruebas para poder brindarle un valor de corriente y carga para las pruebas de registro de energía. Por otro lado, la salida digital de RS-485 es la que irá conectada a las borneras de transmisión y recepción serial.

### 3.3.2. Bloque Interfaz de Comunicación Bidireccional

El bloque de Interfaz de Comunicación Bidireccional debe encargarse de servir de medio físico de conexión entre el sistema embebido/unidad de control y los medidores multifunción. Como ya se mencionó, se utilizará un bus de transmisión serial RS – 485.




#### 3.3.2.1. Requerimientos de diseño

A continuación, se listan los requerimientos del presente bloque:

- Capacidad de comunicación serial bidireccional con unidad de control.
- Capacidad transmisión y recepción serial por medio de bus RS-485 (2 o 4 hilos).
- Tamaño reducido para facilidad de acoplamiento con unidad de control.

#### 3.3.2.2. Alternativas de solución y selección

Tabla 1. Alternativas Interfaz de comunicación

Dispositivo	Módulo MAX485	ADM4850	Adaptador USB RS485 CH340	Criterio de selección
Circuito Integrado	MAX485	ADM4850	MAX485 – CH340	-
Imagen				-
Pines I/O	• 6 pines	• 6 pines	• 1 conector USB	<i>Se busca la menor cantidad de pines y/o conectores.</i>
Modo de comunicación	• Half -Duplex • Full -Duplex (2 módulos)	• Half -duplex • Full -Duplex (2 módulos)	• Half - Duplex	<i>Se busca posibilidad de comunicación Full-Duplex.</i>
Velocidad de transmisión	• 2,5 Mbps	• 0,115 Mbps	• 75bps - 6Mbps	<i>Se busca la mayor tasa de velocidad de transmisión.</i>
Dimensiones (mm)	• -	• 5x4x1.75	• -	<i>Menor tamaño para facilidad de integración con unidad de control.</i>
Disponibilidad mercado local	• Disponible	• No disponible	• Disponible	<i>Disponibilidad en mercado local.</i>
Alimentación	• 5 – 12 V DC	• 5 – 6 V DC	• Puerto USB	<i>Mayor rango posible de alimentación</i>
Precio	• S/. 4	• S/. 9,6	• S/. 10.40	<i>Menor precio.</i>

Se selecciona el uso del circuito integrado MAX485 incluido en el Módulo MAX485 ya que, a pesar de no igualar la velocidad de transmisión del Adaptador USB – RS485, permite la conexión por medio de pines de comunicación serial a disposición en la unidad de control, a diferencia del adaptador USB – RS485 en donde es necesario una entrada USB. Además, se prefiere este circuito integrado en lugar del ADM4850 debido al menor precio, mayor velocidad de transmisión de datos y disponibilidad de adquisición en el mercado local.

### 3.3.2.3. Especificaciones técnicas y diseño del circuito

A continuación, se describirá las especificaciones técnicas más relevantes a tener en consideración para la etapa de diseño [5]. Además, se muestra el diagrama de conexiones con el que contará el circuito integrado.

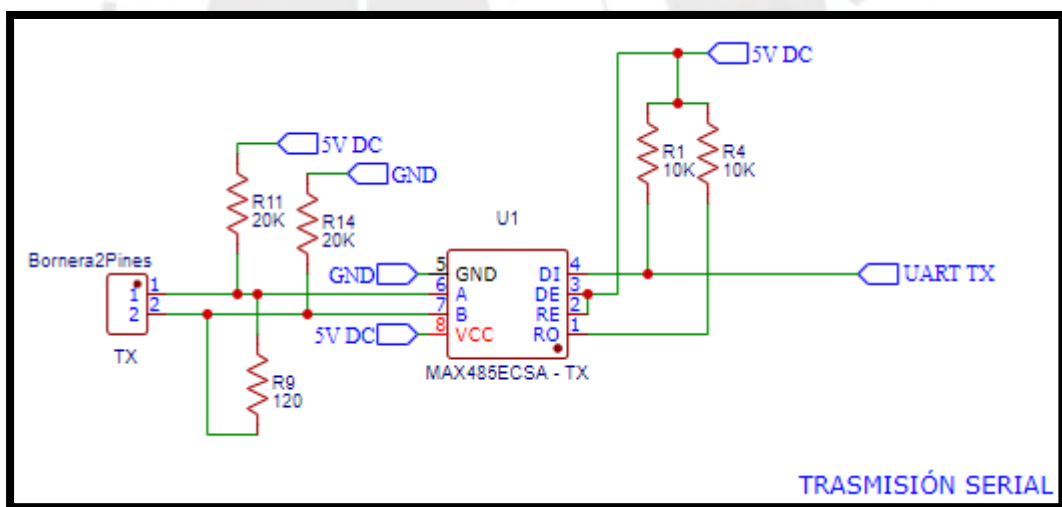


Figura 7. Bloque de transmisión RS-485

Como se muestra en la Figura 6, se utilizará una señal de transmisión UART desde la unidad de control, la cual ingresará por el pin DI del MAX485. Para funcionar en modo transmisor, los pines DE y RE se conectarán a 5 V. Por otro lado, las resistencias R1 y R4 cumplen la función de pull-up para los pines RO y DI, para este último, cuando no se encuentra habilitado el puerto UART. Del mismo modo, se cuenta con las resistencias R11 y R14 para funcionar como pull – up y pull – down en los pines A y B

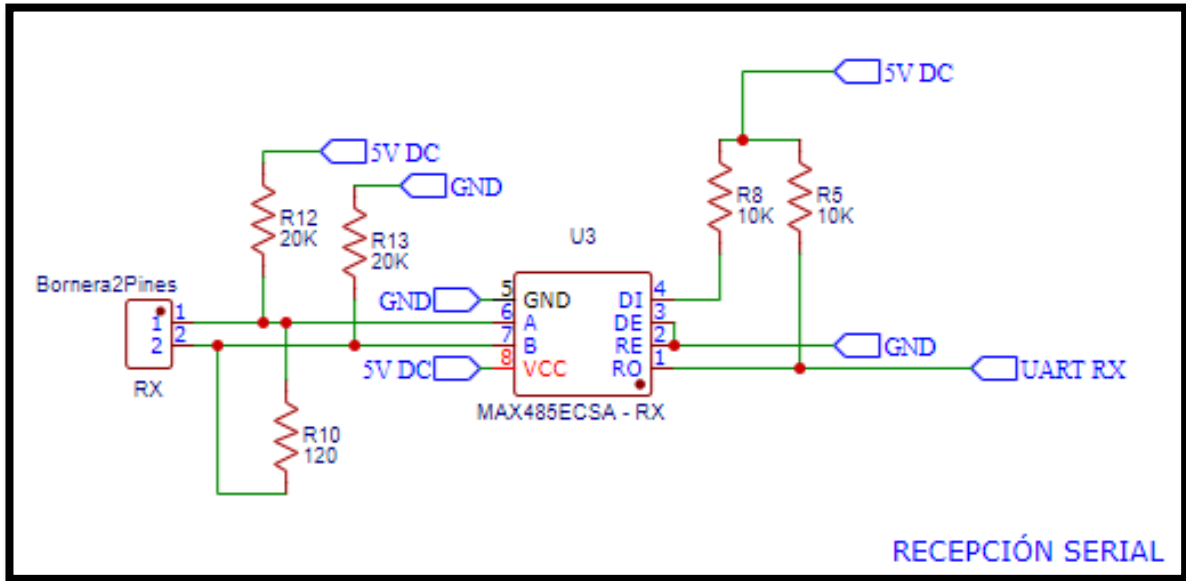


Figura 8. Bloque de recepción RS-485

respectivamente. Finalmente, se coloca la resistencia R9 para evitar la resonancia que se puede generar en los cables de datos cuando no se utilizan, la cual se puede acoplar a los demás hilos de transmisión. El valor de R9 es de 120  $\Omega$  por recomendación de fabricante.

[1]. De la misma manera, según la figura 7, se recibirá una señal UART que irá desde el transceptor MAX485 hacia la unidad de control por medio del pin RO. Los pines DE y RE deben ir conectados a 0 V o GND para que el transceptor funcione en modo receptor. Igual que el caso anterior, las resistencias R8 y R5 cumplen la función de pull – up para los pines DI y RO, este último cuando no se encuentra habilitado el puerto UART. Las resistencias R12 y R13 cumplen la función de pull – up y pull – down para los pines A y B respectivamente. Finalmente, como se mencionó en el caso del transmisor, se coloca una resistencia de 120  $\Omega$  para evitar la resonancia en las líneas de datos no utilizadas [1].

Considerando  $VCC = 5\text{ V}$ ,  $GND = 0\text{ V}$  se tienen los siguientes valores eléctricos a tener en cuenta tanto para la transmisión como para la recepción:

Tabla 2. Características eléctricas MAX485

CARACTERÍSTICA	PIN	VALOR
Input High Voltage VIH	DE, DI, RE	MIN = 2 V
Input Low Voltage VIL	DE, DI, RE	MAX = 0.8 V
Input Current	DE, DI, RE	MAX = +/- 2 uA
Receiver Output High Voltage VOH	RO	MIN = 3.5 V
Receiver Output Low Voltage VOL	RO	MAX = 0.4 V
Input Current	A, B	-0.8 mA a 1 mA
Output Voltage	A, B	-8 V a 12.5 V
Input Voltage	A, B	-8 V a 12.5 V

De los esquemáticos de transmisión y recepción presentados, las señales que irán a la unidad de control serán UART TX y UART RX, para así asegurar la transmisión de datos por medio de estos pines de comunicación serial. Cabe mencionar que es importante tener en cuenta los niveles de voltaje de la unidad de control en los pines de comunicación serial UART para evitar fallos en la comunicación o defectos en los transceptores.

### 3.3.3. Bloque Unidad de Control y Gateway IoT

La unida de control tiene la función de ejecutar los códigos fuente necesarios para realizar la lectura de los medidores multifunción. Además, debe contar con capacidad de comunicación serial para conectarse con los medidores por el bus serial RS-485. Por otro lado, debe tener la capacidad de enviar la información recolectada de consumo de los medidores multifunción a la base de datos alojada en la nube, por medio del Gateway IoT y/o módulo de comunicación respectivo.

### 3.3.3.1. Requerimientos de diseño

A continuación, se listan los requerimientos:

- Gestionar y ejecutar códigos fuente para lectura de medidores.
- Poseer interfaz de comunicación serial RS-485 o adaptable.
- Poseer memoria no volátil para almacenar códigos fuente de lectura.
- Poseer capacidad de envío de información recolectada a base de datos alojada en la nube.
- Poseer modulo de comunicación y/o adaptable.

### 3.3.3.2. Alternativas de solución y selección

Tabla 3. Alternativas Unidad de Control

Placa de desarrollo	Raspberry Pi pico	Arduino UNO	Arduino Mega	Raspberry Pi Zero	Criterio de Selección
Unidad de Control	RP2040	ATmega328P	ATmega2560	BCM2835 (SoC)	-
Periféricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26 pines GPIO</li> <li>• 2 SPI</li> <li>• 2 I2C</li> <li>• 2 UART</li> <li>• 3 ADC 12 bits</li> <li>• 16 PWM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 pines GPIO</li> <li>• 6 pines PWM</li> <li>• 6 pines analógicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 54 pines GPIO</li> <li>• 15 PWM</li> <li>• 16 input analógicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 28 pines GPIO</li> <li>• 2 SPI</li> <li>• 2 I2C</li> <li>• 1 UART</li> <li>• 2 PWM</li> </ul>	Mayor cantidad de pines de interfaces de comunicación con la unidad de control.
Memoria SRAM	• 264 KB	• 2 KB	• 8 KB	• 512 MB	Mayor capacidad de memoria RAM
Memoria Flash	• 2MB	• 32 KB	• 256 KB	• Memoria SD (Hasta 32 GB)	Mayor capacidad de memoria FLASH.
Memoria EEPROM	• 16KB	• 1 KB	• 4 KB	• Memoria SD (Hasta 32 GB)	Mayor capacidad de memoria EEPROM
Lenguaje de programación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• MicroPython</li> </ul>	• C	• C	• Python	Se prefiere la codificación en lenguaje Python.
Disponibilidad en mercado local	• Disponible	• Disponible	• Disponible	• Disponible	Se prefiere disponibilidad en mercado local.

<b>Precio</b>	• S/. 23 - 50	• S/. 20 - 30	• S/. 50 - 70	• S/. 105	<i>Se busca el menor precio.</i>
<b>Frecuencia de operación</b>	• 133 MHz	• 16 MHz	• 16 MHz	• 1 GHz	<i>Mayor frecuencia de operación.</i>
<b>Alimentación</b>	• 1.8 – 5.5 V	• 5 V	• 5 V	• 5 V	<i>Se prefiere el uso de 5V por su facilidad de obtención.</i>

Se selecciona la microcomputadora Raspberry Pi Zero W basada en el microprocesador BCM2835 SoC, ya que cuenta con pines de comunicación de transmisión y recepción serial para la obtención de información de los medidores multifunción por medio de un módulo RS-485 adaptable. A través de sus interfaces seriales es posible utilizar un módulo de comunicación y/o Gateway, para enviar la información de consumo del medidor a la base de datos alojada en la nube. Por otro lado, permite la ejecución de programas en lenguaje de programación Python, en el cual se encuentran las librerías disponibles para la lectura de medidores multifunción. Para su correcto funcionamiento, es necesario el uso de un sistema operativo basado en Linux tales como Ubuntu, Raspberry Pi OS, Debian, etc. Se utilizará el sistema operativo Raspberry Pi OS Lite, una versión reducida del sistema operativo Debian, que cuenta con las características suficientes para la ejecución de los programas necesarios, a diferencia de Raspberry Pi OS o Ubuntu en la cual es necesario una interfaz gráfica para monitorear la microcomputadora.

### **3.3.3.3. Especificaciones técnicas y diseño del circuito**

A continuación, se describen las especificaciones técnicas a tener en consideración para la etapa de diseño de la unidad de control. Además, se muestra el diagrama de conexiones con la que contará la microcomputadora en sus salidas por medio de los pines GPIO.

Con respecto a la conexión con los módulos MAX485, el nivel de tensión aceptado para la comunicación serial por el header de pines GPIO de la Raspberry Pi Zero es de 3.3 V DC, ya sea de INPUT o OUTPUT, mientras que los pines UART TX y UART RX de los módulos requieren un nivel de tensión de 5 V DC. No existe problema en la transmisión de datos desde la unidad de control ya que el mínimo valor de voltaje en alta reconocible por el módulo MAX485 es de 2 V [5]. Por el lado de recepción de datos en la unidad de control, es necesario regular el voltaje de salida del módulo MAX485 a 3.3 V. Además, se realizará el ajuste de voltaje tanto para la transmisión como recepción para tener un óptimo funcionamiento del sistema.

Se utilizará un circuito regulador bidireccional de voltaje basado en un transistor BSS138 y resistencias de pull - up. De acuerdo con la Figura 9, los pines GPIO 14 y GPIO 15 de la unidad de control corresponden a TX UART y RX UART del sistema. Estos pines funcionan con niveles de voltaje de 3.3 V DC, por lo que al tener una salida en alta del GPIO 14, el transistor BSS138 no se activa, y la salida UART TX obtendrá el valor de 5V DC proveniente de la resistencia de pull – up. Mientras que, al tener un valor de 0 V DC, el transistor conmutará y el voltaje en el pin UART TX será de 0 V DC.

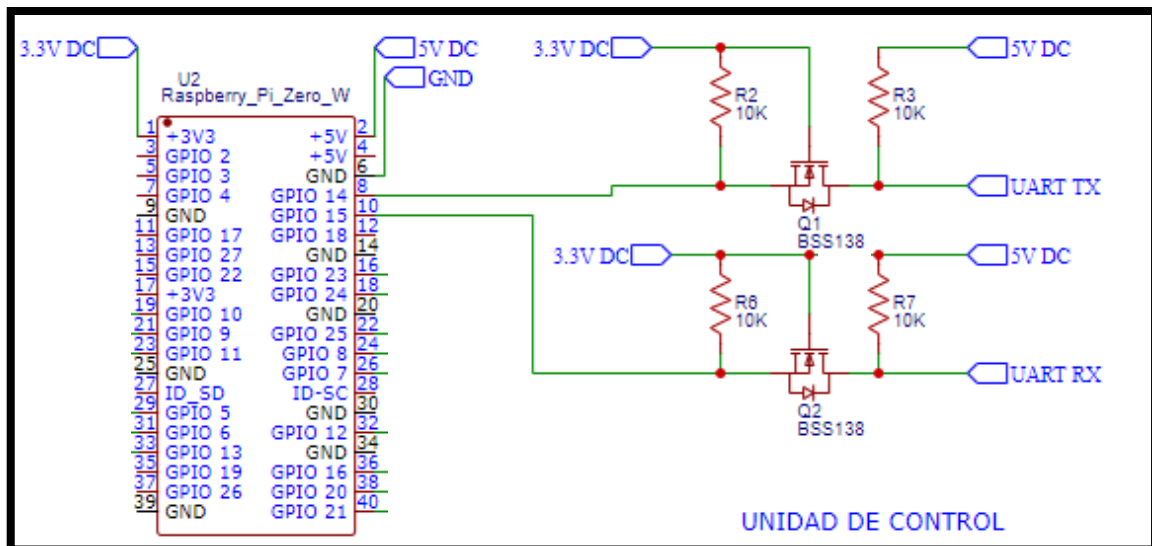


Figura 9. Circuito Regulador de voltaje

Este mismo principio de funcionamiento se aplica para el circuito que recibe la señal del módulo MAX485 por medio del pin UART RX.

Se muestra el diagrama de conexiones de la unidad de control a los reguladores de voltaje. Además, también se puede observar los pines UART TX y UART RX hacia los módulos MAX485 respectivos.

Por otro lado, con respecto al módulo de comunicación y conexión con la base de datos, la cual estará alojada en la nube, la microcomputadora Raspberry Pi Zero W posee un módulo de comunicación Wi-Fi, mediante el cual es posible conectarse a la red wifi del cliente en los casos de submedición, y así enviar la información a la base de datos. En el caso de las empresas de distribución de energía eléctrica, es posible utilizar un módulo de comunicación celular adaptable que se conecte a la microcomputadora por medio de las interfaces seriales y así permitirle enviar la información. De esta forma, es posible brindar conectividad a la unidad de control en ambos casos y almacenar los datos respectivos.

### 3.3.3.4. Software Unidad de Control

Además de todos los equipos de hardware mencionados anteriormente, es necesario un software adecuado para el sistema propuesto. Debido a que la unidad de control a utilizar será una microcomputadora Raspberry Pi Zero W, es necesario incluir un sistema operativo adecuado. Para este caso, como ya se mencionó, se utilizará el sistema operativo Raspberry Pi OS Lite. El sistema operativo será cargado en una memoria SD de 16 GB. Para colocar el sistema operativo en la Raspberry Pi Zero W se insertará la memoria SD en la ranura correspondiente de la unidad de control.



*Ilustración 1. Tarjeta Micro SD*



*Ilustración 2. Ranura SD RPI Zero W*

Una vez terminado el paso anterior, se configurará el sistema operativo para ejecutar automáticamente los scripts de Python correspondientes para la lectura de medidores multifunción, envío de información a la base de datos en la nube y gestión de pines GPIO de Raspberry Pi Zero W.

El script de Python cargado en la Unidad de Control seguirá el siguiente diagrama de flujo.

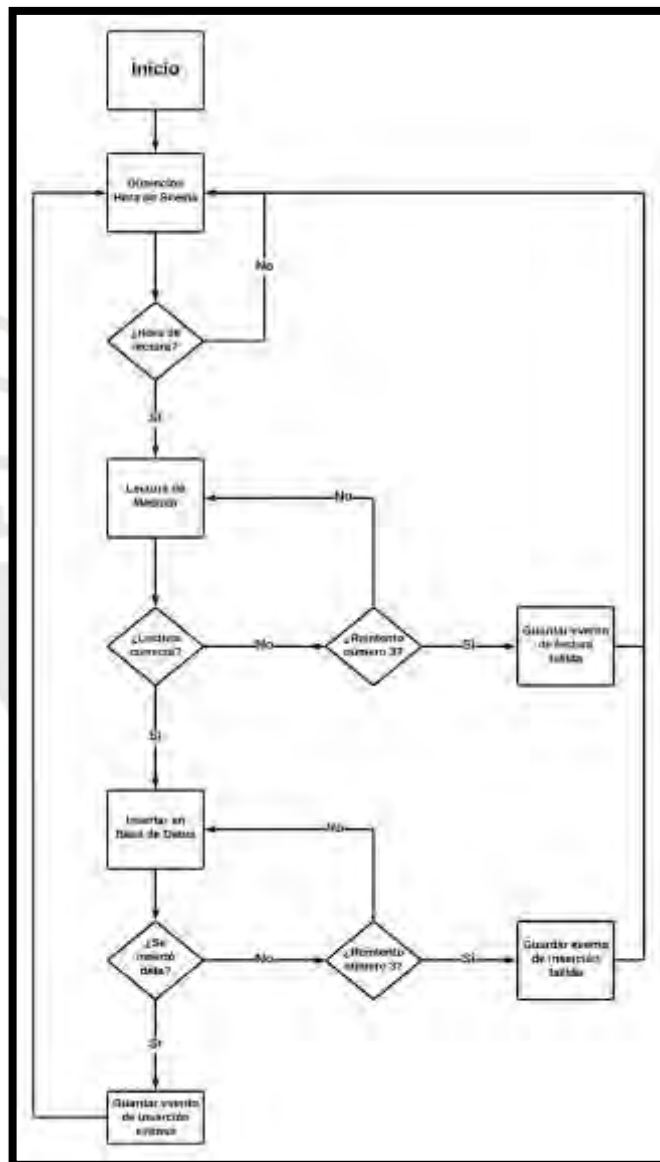


Figura 10. Diagrama de Flujo Script Unidad de Control

Según la Figura 10, el software cargado en la Unidad de Control realiza la lectura de los medidores multifunción a la hora configurada en el script de Python. Para esto, el software consulta la hora del sistema y la compara con la hora configurada para determinar cuándo realizar la lectura de información. Una vez recolectada la información, la unidad de control envía los datos recolectados a la base de datos ubicada en la nube. De presentarse un error en la lectura del medidor o en la inserción de información a la base de datos, se realizan hasta 3 intentos nuevos, de fallar los 3 intentos se almacena un registro de evento de fallo de lectura y/o fallo de inserción de datos, para luego continuar con la evaluación de la hora para la próxima toma de lectura. Por último, el proceso mencionado se repite para todos los medidores conectados por medio del bus RS-485 a la Unidad de Control.

### **3.3.4. Bloque Base de Datos**

La Base de Datos del sistema tiene como función almacenar la información obtenida de cada medidor electrónico multifunción luego del proceso de lectura realizado por la Unidad de Control, dicha información corresponde al consumo energético eléctrico registrado por cada medidor. La Base de Datos se encontrará localizada en un host en la nube con el objetivo de que la unidad de control pueda enviar e insertar la información en la misma y esta pueda ser consumida posteriormente por la aplicación encargada de presentar la información al usuario. Además, el alojar la base de datos en un host virtual ubicado en la nube brinda mayor facilidad de escalabilidad al momento de integrar una mayor cantidad de medidores al sistema, ya que solo es necesario aumentar la capacidad de almacenamiento y velocidad de procesamiento del host virtual.

### **3.3.4.1. Requerimientos de diseño**

A continuación, se listan los requerimientos del motor de base de datos a utilizar en el presente bloque:

- Capacidad de almacenar registros diferenciados por número identificador de medidor.
- Capacidad de almacenamiento escalable en función de necesidad del sistema.
- Lista de acceso a base de datos configurable.
- Protocolo de comunicación TCP/IP para inserción y consumo de datos.
- Base de datos No Relacional

### **3.3.4.3. Especificaciones y diseño de Base de Datos**

Para el desarrollo del presente prototipo se utilizará el servicio de MongoDB [52] como motor de base de datos, debido a que, al ser una base de datos del tipo No Relacional, es posible almacenar la información de consumo de cada medidor en formato de texto, en este caso un documento de tipo JSON. De esta forma cada documento posee una serie de pares clave – valor, mediante los cuales podemos acceder a la información de cada medidor, ya sea identificadores como número de serie, modelo etc. Así como también información de consumo, como cantidad de kWh consumidos, voltajes, corrientes, etc.

La base de datos tendrá conectividad TCP/IP y podrá ser consultada por medio del protocolo HTTP desde la aplicación que presentará la información al usuario.

Por otro lado, es posible configurar una lista de acceso TCP/IP, con el objetivo de restringir el acceso a la misma desde cualquier host con un IP distinto al permitido en la lista de acceso.

### **3.3.5. Bloque Plataforma IoT Cloud**

La Plataforma IoT Cloud es el bloque encargado de consumir y/o consultar a la base de datos la información almacenada referente a cada medidor electrónico multifunción, para posteriormente presentarla al usuario por medio de una interfaz web o vista HTML. Además, dicha interfaz web debe permitir al usuario navegar entre los diferentes medidores multifunción para poder seleccionar la información a consultar. Finalmente, la plataforma debe ser accesible al usuario por medio de una conexión a internet, dicha conexión debe ser configurable a nivel de seguridad para poder proteger el acceso a la plataforma y la información de consumo que se presenta. El presente bloque se dividirá en 2 niveles, el primero que corresponde a la aplicación encargada de realizar las consultas y consumir la información de la base de datos, y el segundo que corresponde a un host virtual, brindado por un proveedor de servicios en la nube, necesario para alojar la aplicación mencionada.

#### **3.3.5.1. Requerimientos de diseño**

La plataforma debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Poseer un host virtual con la capacidad de alojar y ejecutar la aplicación encargada de consultar la información a la base de datos.
- Poseer un host virtual con la capacidad de brindar acceso al usuario por medio de una conexión a internet.
- Poseer un host virtual con la capacidad de configurar el nivel de seguridad de acceso a la aplicación.

- Aplicación con la capacidad de gestionar las vistas en la interfaz web y/o vistas HTML.
- Aplicación con la capacidad de recibir solicitudes por parte del usuario por medio de la interfaz web.

### **3.3.5.2. Especificaciones y diseño de Plataforma**

En primer lugar, es necesario de un proveedor de servicios en la nube que nos brinde un host virtual en el cual se pueda ejecutar la aplicación de nuestro sistema y que cumpla con los requerimientos mencionados previamente. El host virtual será desplegado con el uso del proveedor de servicios en la nube Amazon Web Service (AWS), por medio de su servicio de host virtual EC2, el cual nos permitirá alojar la aplicación de nuestro sistema en un servidor ubicado en la nube. Adicionalmente, el uso AWS brinda la posibilidad de crear listas de acceso para poder restringir el acceso a nuestro servidor virtual, así como a nuestra aplicación, lo cual brinda una capa de seguridad que protege nuestra aplicación.

Por otro lado, la aplicación que se ejecutará en el host virtual se desarrollará en el entorno Spring Framework, el cual nos permite modelar la aplicación bajo el esquema MVC (Model – View – Controller). De esta forma, es posible recibir las solicitudes que ejecutará el usuario por medio de la interfaz web, interpretarlas y realizar el consumo de información correspondiente a la base de datos. Posteriormente, dicha información será presentada al usuario por medio de una vista HTML.

A continuación, se muestra la arquitectura de funcionamiento de la aplicación y host virtual

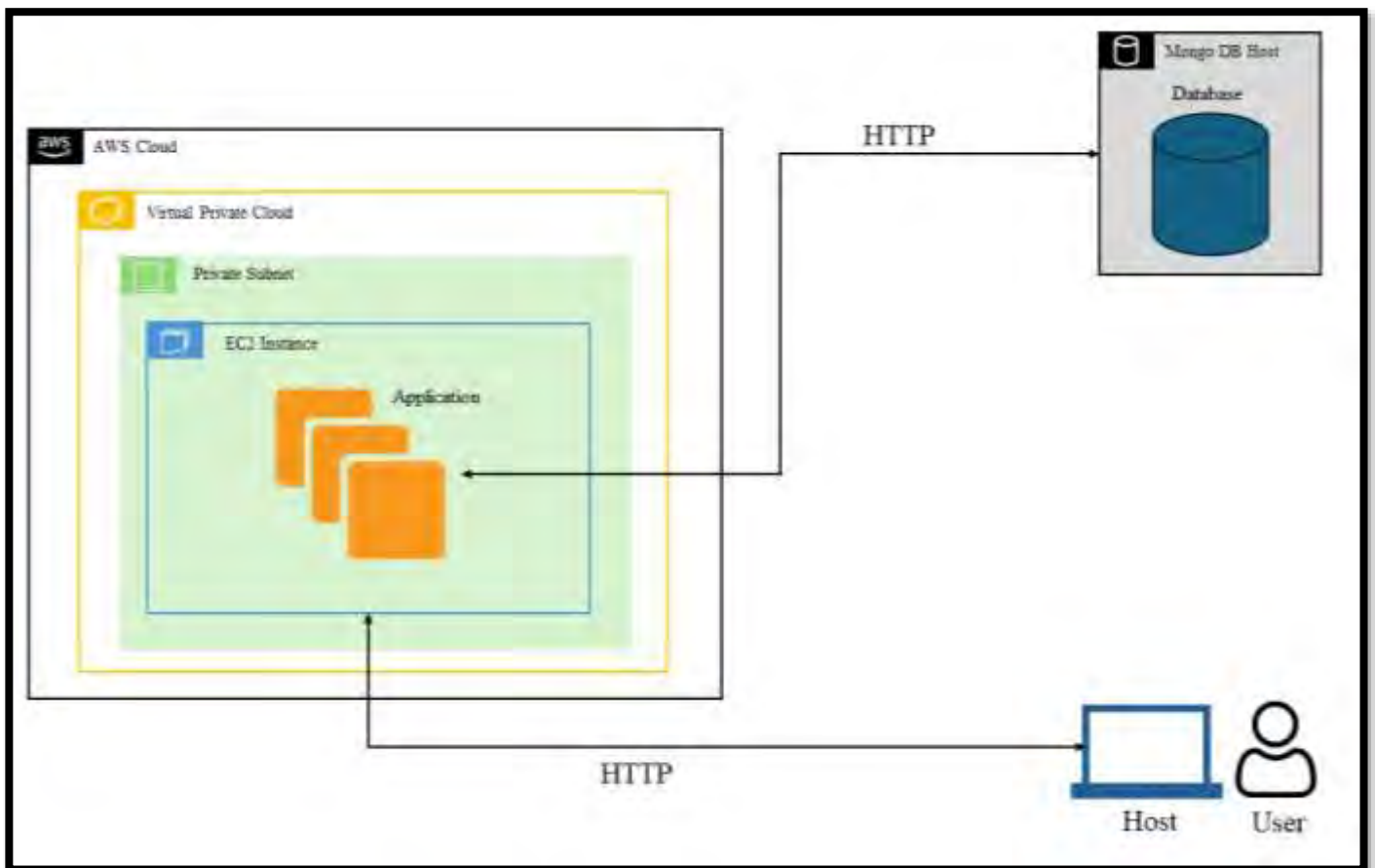


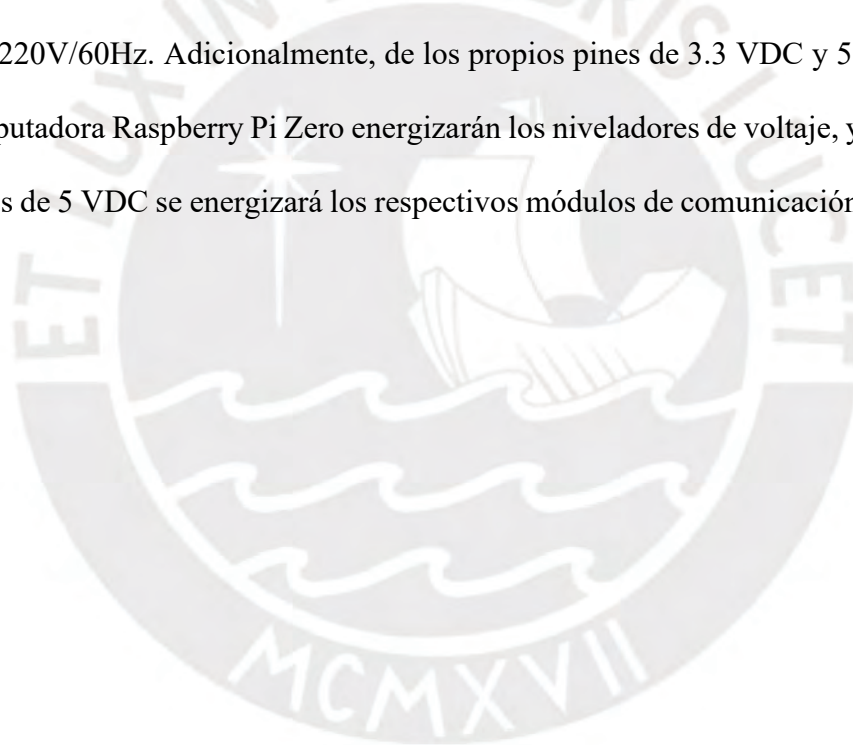
Figura 11. Arquitectura de plataforma Cloud

Según como se muestra en la Figura 11, se tiene un servidor virtual EC2 (Elastic Cloud Compute) ubicado dentro de una Subred Privada en una Red Privada Virtual o VPC (Virtual Private Cloud) que es brindada por el proveedor de servicios en la nube AWS.

El usuario realiza una solicitud al servidor virtual EC2 por medio del protocolo HTTP en la interfaz web, en dicha solicitud se indica el número identificador del medidor del cual se desea conocer el consumo eléctrico. Dentro del servidor EC2 se encuentra en ejecución la aplicación que recibe y procesa la solicitud por medio del controlador respectivo para luego consultar por la información a la base de datos, la cual se encuentra ubicada también en la nube. Finalmente, el controlador recibe la información brindada por la base de datos y la devuelve al usuario por medio de un gráfico en una vista HTML.

### **3.3.6. Bloque Alimentación**

Debido a que se utilizará una microcomputadora Raspberry Pi Zero como unidad de control para el prototipo del sistema, es necesario alimentar la placa de desarrollo con 5 V DC @ 3 A por medio una entrada micro USB en la placa. Se utilizará un adaptador de voltaje de 220V/60Hz a 5V/3A para alimentar la placa. Se tiene como consideración que la microcomputadora encargada de realizar la lectura del medidor irá conectada a la misma red eléctrica trifásica de la cual el medidor registra el consumo, para lo cual se considera que la energía para alimentar la microcomputadora será de una fase de la red trifásica a 220V/60Hz. Adicionalmente, de los propios pines de 3.3 VDC y 5 VDC de la microcomputadora Raspberry Pi Zero energizarán los niveladores de voltaje, y por medio de los pines de 5 VDC se energizará los respectivos módulos de comunicación MAX485.



## 4. Resultados de Funcionamiento

En este capítulo, se mencionará las pruebas realizadas para el desarrollo del prototipo del sistema embebido propuesto en el trabajo de tesis, lo que incluye tanto el hardware encargado de la lectura de medidores electrónicos multifunción, así como el software encargado de almacenamiento, interfaz y presentación de datos al usuario. Por otro lado, se describirá los resultados obtenidos de los mismos.

### 4.1 Condiciones de prueba

Para realizar las pruebas respectivas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones o condiciones de prueba:

- Se utilizará como equipo de medición un medidor electrónico trifásico multifunción con puerto de comunicación RS-485.
- Se utilizará como fuente de alimentación del medidor la red eléctrica residencial la cual trabaja a 220 VAC / 60 Hz
- Se utilizará la microcomputadora Raspberry Pi Zero W como unidad de control.
- Se utilizará el módulo MAX485 como interfaz de comunicación bidireccional entre la unidad de control y el medidor.
- Se utilizará las librerías de Gurux/DLMS en el lenguaje de programación Python para la solicitud de información de consumo al medidor desde la unidad de control.
- Se utilizará una base de datos de tipo No Relacional ubicada en un host en la nube, en la cual se almacenará la información de consumo de los medidores.
- Se contará con un servidor alojado en la nube al cual el usuario podrá tener acceso por medio de una interfaz web, desde el cual realizará la consulta de información respectiva.

## 4.2. Hardware y Software utilizado

- 2 medidores electrónicos multifunción de energía eléctrica
- 1 laptop
- 1 interruptor diferencial de protección
- 1 protoboard
- Jumpers para protoboard
- 2 módulos MAX485
- 1 microcomputadora Raspberry Pi Zero W
- IDE de programación IntelliJ
- Framework Spring
- Servidor virtual en la nube (Instancia EC2)
- Base de datos no Relacional MongoDB

## 4.3. Esquema y descripción de prueba

El objetivo de la prueba de funcionamiento es verificar la adecuada conexión entre la unidad de control seleccionada (Raspberry Pi Zero W), los módulos transceptores MAX485 y los medidores multifunción de energía eléctrica. Además, se busca verificar una adecuada lectura remota, almacenamiento de información en la base de datos y presentación de datos al usuario.

A continuación, se presenta el diagrama de conexión de la Unidad de Control a los medidores electrónicos multifunción, por medio de los transceptores MAX485. Adicionalmente, se presenta el diagrama de funcionamiento de envío de información desde la Unidad de control hacia la base de datos y posteriormente a la vista presentada al usuario.

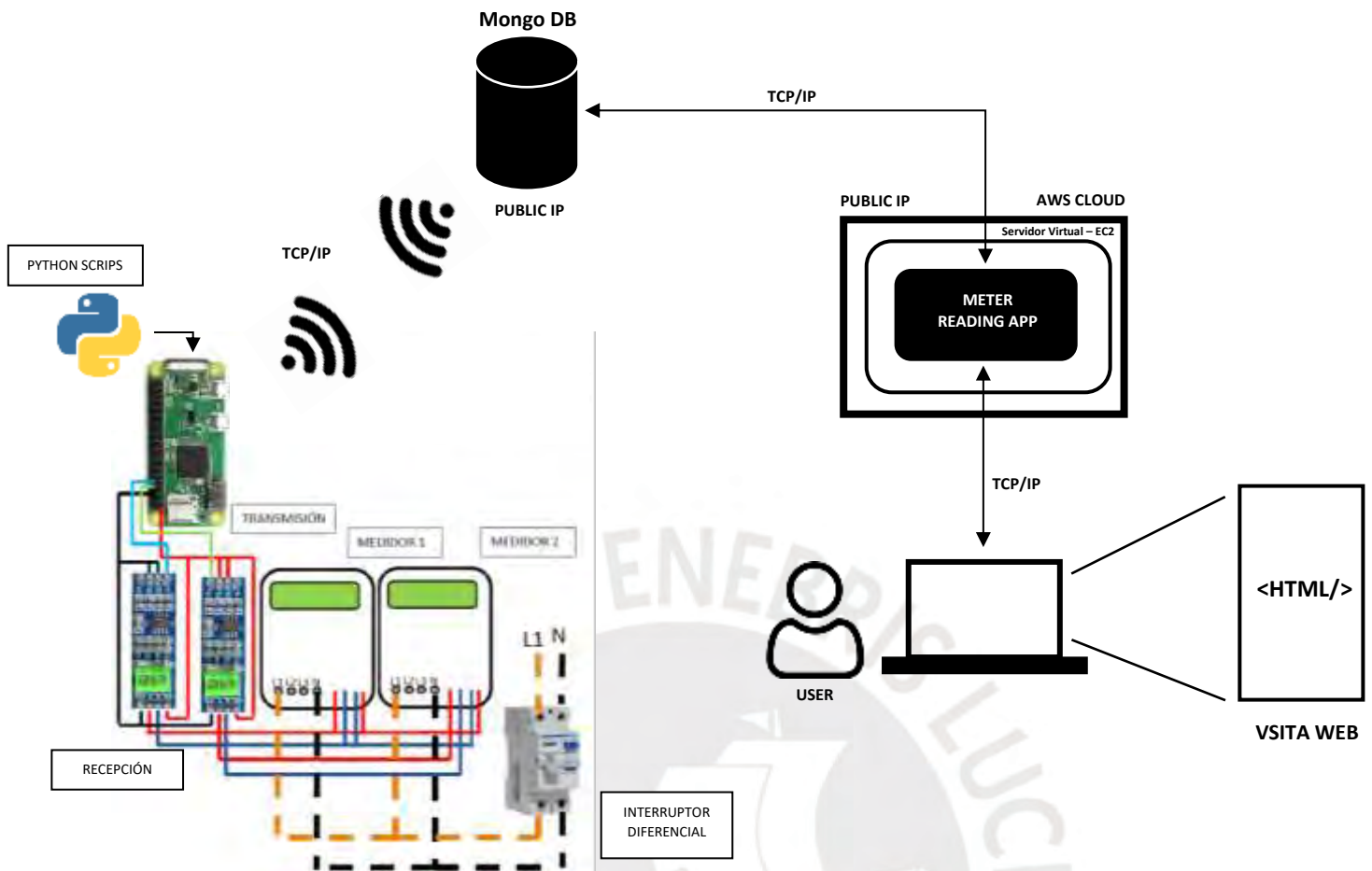


Figura 12. Esquema de funcionamiento Sistema de Lectura

Según como se observa en la Figura 12, la microcomputadora Raspberry Pi Zero W está configurada con el sistema operativo Raspberry Pi OS y los scripts de Python para la lectura de los medidores. Se utilizarán los pines de comunicación serial UART de la Raspberry Pi definidos en los pines 8 y 10 del header de pines (Verde y Celeste de Figura 12). La información será transmitida por medio de los módulos MAX485 con el objetivo de establecer comunicación con la salida RS-485 (Pares de cables rojo y azul) de los medidores multifunción, los cuales se conectan por un mismo bus de comunicación RS-485. Adicionalmente, se coloca un interruptor diferencial en la alimentación de los medidores para proteger contra cortocircuitos, dicha alimentación corresponde a un valor de 220 VAC, el cual se aplica en solo una de las fases de los medidores. La microcomputadora, por medio de su módulo Wi-Fi, se conectará a la red de internet del

cliente, de este modo puede enviar los datos de consumo de los medidores a la base de datos MongoDB que se encuentra en la nube, la cual posee una dirección IP Pública. La información se mantendrá almacenada en la base de datos y se añadirán registros a medida que la unidad de control realice la lectura de información correspondiente. Por otro lado, se cuenta con una aplicación denominada como “Meter Reading App”, la cual está alojada dentro un servidor virtual o instancia EC2 en la nube del proveedor de servicios AWS, según como se muestra en la Figura 12. Dicha instancia posee una dirección IP Pública, la cual se encuentra añadida a la lista de acceso admitida por la base de datos para el consumo de sus registros, de esta forma es posible brindar un nivel de seguridad a la información de consumo energético de cada medidor y por ende de cada cliente al permitir el acceso a la base de datos únicamente a nuestra aplicación. La aplicación mencionada brinda adicionalmente una interfaz web o vista HTML por medio del puerto 9000, la cual puede ser accedida por el usuario para la interacción con el sistema. Dentro de la interfaz web, el usuario puede seleccionar las acciones que desea realizar en el sistema, como pueden ser visualización de la lista de medidores conectados, adición de nuevos puntos de medición o eliminar un punto de medición, dichas vistas pueden ser seleccionadas por medio de la vista principal o Home. Para el caso de visualización de información de consumo eléctrico de cada medidor, el usuario seleccionará el número de serie del medidor que desea visualizar, posteriormente la aplicación realizará la consulta de información respectiva a la base de datos por medio del método Request con el parámetro del número de serie del medidor. Finalmente, la base de datos responde con la información respectiva del medidor seleccionado, para que luego la aplicación gestione la información y la presente mediante una gráfica al usuario, la cual puede ser exportable en diferentes formatos como Excel, .CSV, etc. Cabe mencionar que tanto la aplicación alojada en el servidor virtual, como las diferentes vistas HTML del sistema, fueron

desarrolladas con el método MVC (Model – View – Controller) en el Framework de desarrollo de backend Spring, y codificado en el entorno de programación o IDE IntelliJ.

### 4.3. Resultados de pruebas

A continuación, se presenta los resultados de lectura de los medidores multifunción.

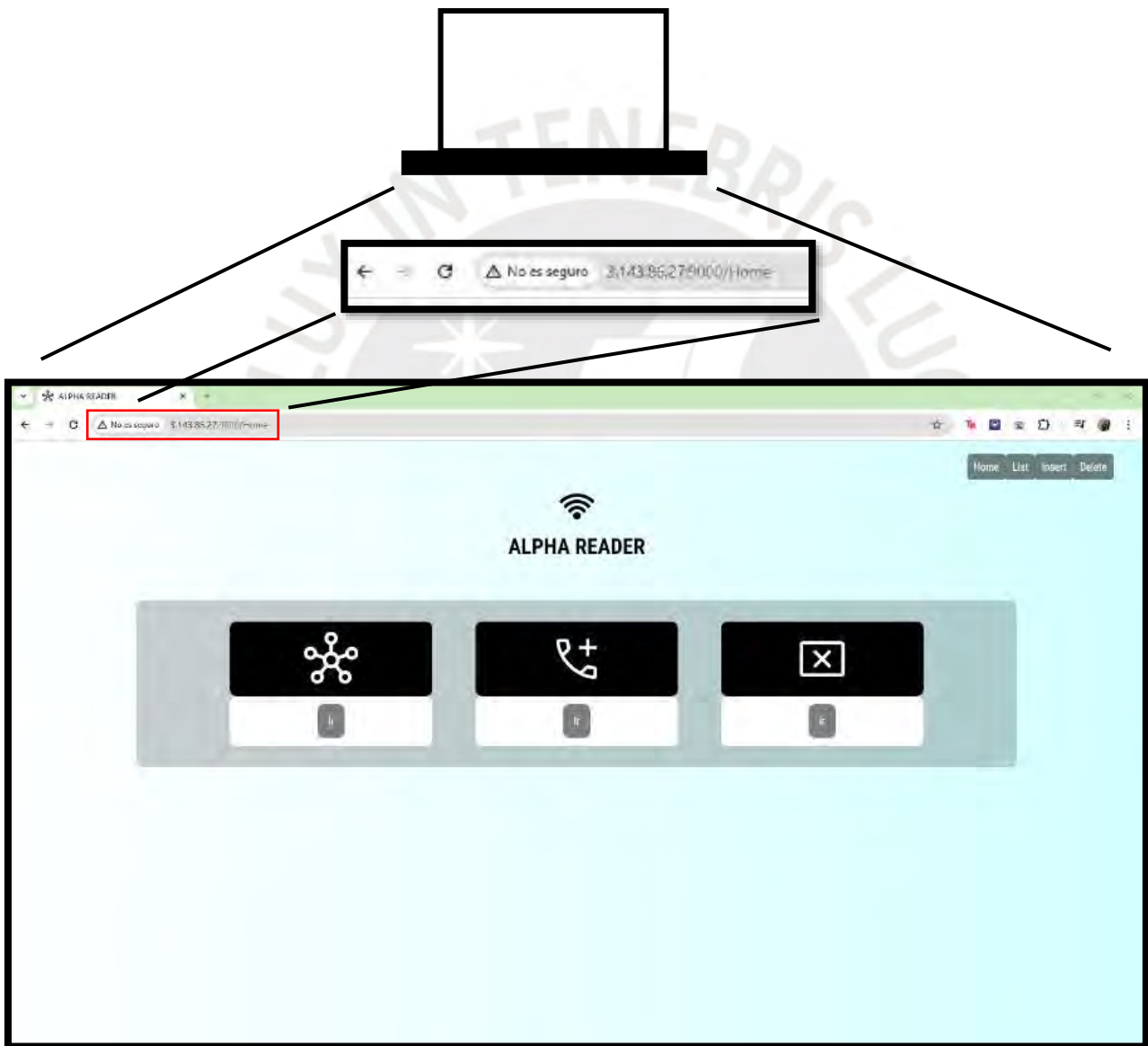


Figura 13. Vista principal Interfaz Web

Según como se muestra en la Figura 13, es posible acceder al sistema o aplicación de lectura por medio de una interfaz web, en este caso se accede por medio del método GET

a la dirección IP de número 3.143.86.27, la cual es la dirección IP de nuestro servidor alojado en la nube, por el puerto 9000. Una vez ingresamos a la interfaz web, podemos seleccionar la vista que deseamos para navegar.

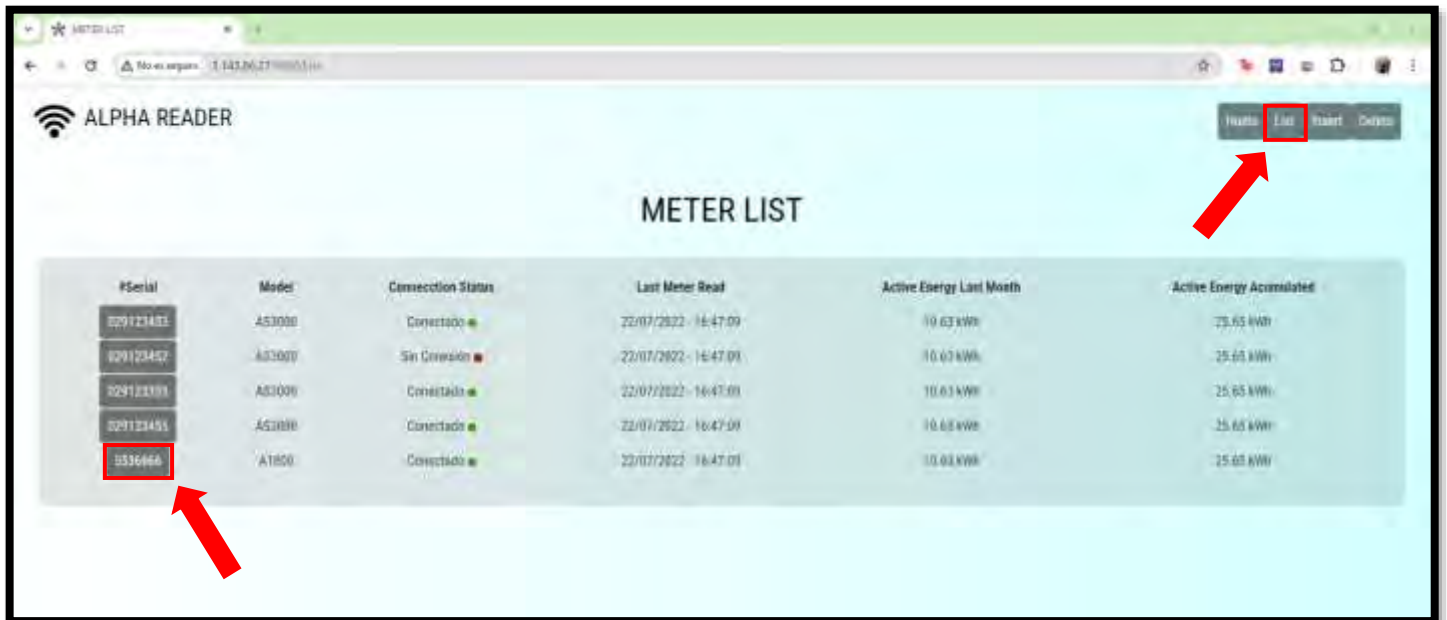


Figura 14. Vista de medidores conectados

Según la Figura 14, podemos ver la lista de medidores que se encuentran conectados al sistema por medio del botón “List”. En esta vista es posible ver información de cada uno de los puntos de medición, como son el número serial, modelo del medidor, estado de conexión, última fecha de lectura, energía activa del último mes y energía activa acumulada total, para este caso, se está trabajando con medidores modelo A1800 y AS3000. Al seleccionar el número de serie del medidor respectivo, podemos visualizar la información de consumo eléctrico de dicho medidor identificada con fecha y hora, la cual dependerá de la fecha y hora que se tenga configurada en la unidad de control para realizar la lectura de cada medidor.



Finalmente, el usuario puede seleccionar la barra superior derecha para exportar la información de la gráfica en el formato que desee, ya sea .CSV, Excel, imagen, etc.

	A	B
1	KWH CONSUMED	
2	<b>Category</b>	<b>5536666</b>
3	<b>17:32:35</b>	1100
4	<b>17:37:13</b>	1100
5	<b>23:12:18</b>	1100
6	<b>23:17:35</b>	1100
7	<b>23:31:07</b>	2
8	<b>23:33:59</b>	215
9	<b>23:41:12</b>	218
10	<b>23:44:57</b>	216
11	<b>23:53:00</b>	1100
12	<b>00:46:12</b>	1100
13	<b>00:07:08</b>	1100
14	<b>25/12/2023, 15:22:06</b>	1100
15	<b>25/12/2023, 20:17:15</b>	1100
16	<b>10/02/2024, 20:02:08</b>	1100
17	<b>11/02/2024, 20:12:09</b>	1100
18	<b>12/02/2024, 21:42:11</b>	1100
19	<b>12/02/2024, 22:02:13</b>	1100

Figura 17. Información de consumo exportada

## 4.4. Evaluación y análisis de pruebas

Luego de realizadas las pruebas respectivas y verificación de funcionamiento del sistema propuesto, es posible realizar un análisis de estas y mejorar sus características.

De acuerdo con las pruebas realizadas, el tiempo necesario para la extracción de información almacenada en el medidor es de 1 minuto y medio, lo cual corresponde a la extracción de información de energía activa importada total (kWh – import) registrada por el medidor. Dicho tiempo incluye la extracción de información por parte del dispositivo y el envío de la respectiva información a la base de datos. Para el caso de más de 1 medidor conectado al sistema, lo cual implica contar con más dispositivos físicos de lectura en cada medidor, el tiempo de lectura es el mismo, por lo que la extracción de información se realiza de manera paralela desde el punto de vista del usuario.

Con respecto a la base de datos durante las pruebas de funcionamiento, esta posee un espacio de almacenamiento de 512 Megabytes. A continuación, se muestra la cantidad de espacio en memoria que ocupa los datos de consumo obtenidos.

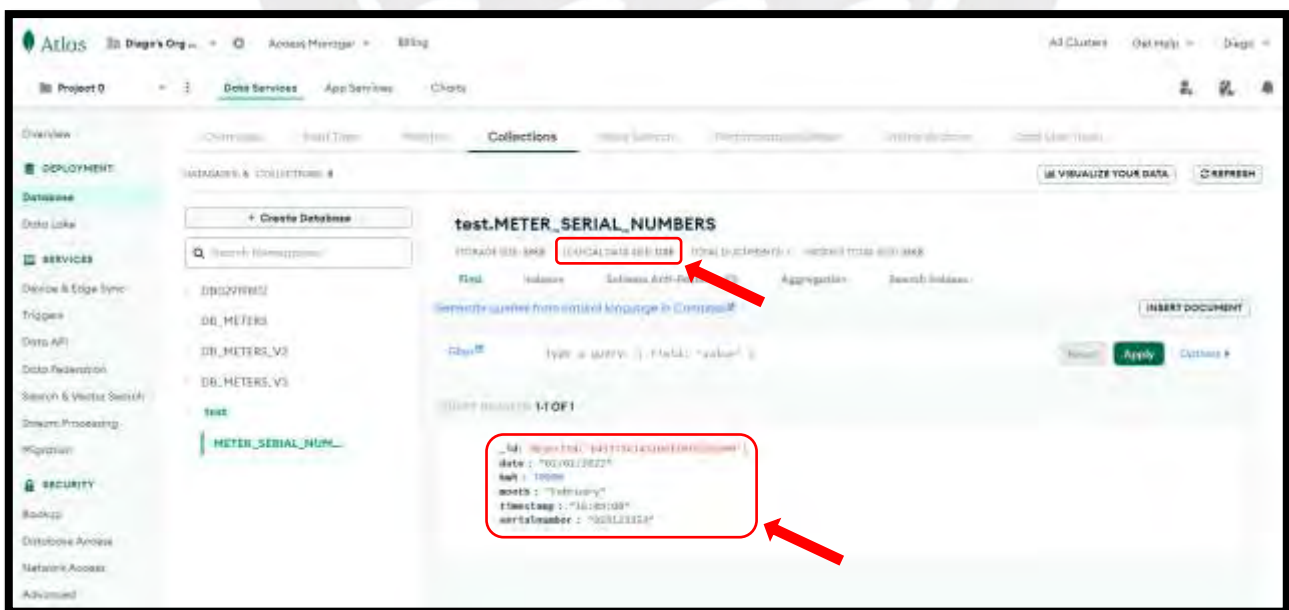


Ilustración 3. Interfaz Web administrador de base de datos Mongo DB – 1 valor de energía

De acuerdo con la Ilustración 3, luego del envío de información, el espacio que ocupa un registro en la base de datos es de 128 bytes, en dicho registro se considera la siguiente información:

- **\_id**: Identificador de registro dentro de la base de datos
- **date**: Fecha en la cual fue tomada la lectura de información
- **kWh**: Cantidad de energía activa importada total registrada por el medidor multifunción
- **month**: Mes en el cual fue tomada la lectura de información
- **timestamp**: Hora en la cual fue tomada la lectura de información
- **serialnumber**: Número serial único identificador de cada medidor multifunción

Por lo tanto, es posible calcular la cantidad de tiempo disponible de almacenamiento en la base de datos para una cantidad variable de medidores multifunción conectados a la red.

Para este caso se consideró una lectura diaria por cada medidor.

*Tabla 4. Cálculo de tiempo disponible en base de datos*

Bytes	Bytes/mes	KiloBytes/mes	Cantidad de medidores	MegaBytes/mes	Almacenamiento disponible en base de datos (MegaBytes)	Meses	Años
128	3840	3.7	2000	7.3	512	69.9	5.8

De acuerdo con el análisis de la Tabla 4, una base de datos con 512 MegaBytes de espacio disponible permite almacenar 5.8 años de información de consumo para 2000 medidores multifunción. Para el caso descrito, solo se considera el valor de energía activa importada total (kWh) como valor de consumo, adicional a los datos como fecha, hora e

identificadores. Sin embargo, debido que en el medidor se encuentran almacenados registros adicionales por medio de sus códigos OBIS [3], como pueden ser energía activa exportada total (2.8.0), energía reactiva importada total (3.8.0), energía reactiva exportada total (4.8.0), entre otros; es posible añadir la extracción de dicha información por medio del dispositivo físico a través del código fuente y enviarlo a la base de datos del sistema. Esta característica brinda al sistema una alta capacidad de escalabilidad ya que permite ampliar la cantidad de información a mostrar por medidor. Por otro lado, el uso de una base de datos ubicada en la nube brinda la posibilidad de ampliar la capacidad de almacenamiento por medio de volúmenes virtuales adicionales, sin que afecte a la arquitectura del sistema.

## **4.5. Análisis de costos**

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento y el análisis de estas, es posible realizar un análisis de costos del sistema, lo que incluye requerimientos de hardware y software respectivamente, así como el análisis de costos CAPEX [53], [54] y OPEX[53] de la solución completa. Finalmente, se presentará un resumen de costos del sistema.

### **4.5.1. Análisis CAPEX**

En referencia al análisis CAPEX del sistema, se consideran los siguientes costos en equipamiento para el sistema propuesto, los cuales corresponden al costo de desarrollo del sistema embebido y sus componentes en una placa electrónica dedicada basada en los equipos utilizados en las pruebas de funcionamiento:

- Microprocesador [55]

- ❖ Marca: Broadcom
- ❖ Modelo: BCM2835
- Circuito Integrado de comunicación RS-485 [56]
  - ❖ Marca: Analog Devices / Maxim Integrated
  - ❖ Modelo: MAX485

Se necesitarán 2 circuitos integrados MAX485, uno para transmisión y otro para recepción de datos desde los medidores multifunción hacia la unidad de control.

- Módulo conversor AC/DC – 220VAC/5VDC [57]
  - ❖ Marca: Hi-Link

Debido a que el dispositivo diseñado se conectará por medio de conexión serial a medidores electrónicos multifunción, los cuales se encuentran instalados en tableros de distribución y puntos de medición de baja tensión (220 VAC a 60Hz), se utilizará un módulo conversor de tensión AC/DC de 220 VAC a 5 VDC con el objetivo de poder energizar el dispositivo desde la propia alimentación del medidor multifunción. Esto brinda la posibilidad de adaptar el dispositivo a diferentes marcas de medidores sin la necesidad de contar con una batería externa adicional.

- Módulo de comunicación de red celular 4G/LTE [58]
  - ❖ Marca: SimCom
  - ❖ Modelo: A7608SA-H

Con respecto al módulo de comunicación, para el caso de las empresas de distribución de energía eléctrica, las cuales poseen medidores multifunción instalados en zonas alejadas dentro de su zona de concesión, se incluirá un módulo de comunicación 4G/LTE de marca SimCom y modelo A7608SA-H [59], el cual funcionará como Gateway IoT y permitirá al dispositivo enviar la información a la base de datos. Dicho módulo de comunicación

se debe encontrar debidamente certificado en el MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) para asegurar su correcto uso dentro del espectro radioeléctrico del Perú [60], debido al Reglamento Específico de Homologación de Equipos y Aparatos de Telecomunicaciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 001-2006-MTC [61] y su modificatoria, el Decreto Supremo N° 019-2019MTC [62].

- Memoria No Volátil - 8 Mbit [63]
  - ❖ Marca: ST Microelectronics
  - ❖ Modelo: 27C160

Debido a que el dispositivo debe poseer la capacidad de almacenar las librerías necesarias para extraer la información de los medidores multifunción, es necesario poseer una memoria no volátil en la cual se almacenará las librerías necesarias. El peso total de las librerías es de 9 Mbit, por lo que al poseer un total de espacio de almacenamiento de 16 Mbit se podrá almacenar la información necesaria. Se utilizarán 2 memorias marca ST Microelectronics y modelo 27C160, la cual posee espacio de almacenamiento de 8 Mbit cada una.

- Módulo externo

La instalación del sistema embebido se realizará dentro del gabinete o caja portamedidor en donde se encuentra instalado el medidor multifunción. Por lo tanto, es necesario que la placa electrónica e interfaces de conexión serial y de alimentación se encuentren acopladas dentro de un módulo externo, el cual permitirá y facilitará la instalación del sistema embebido y conexión con el medidor multifunción por medio de la conexión RS-485.

A continuación, se muestra un resumen de los costos CAPEX asociados a la fabricación del dispositivo.

*Tabla 5. Costo CAPEX*

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo estimado unitario</b>	<b>Costo estimado total</b>
<b>Microprocesador BCM2835 (SoC)</b>	1	2.3 (\$ USD)	3 (\$ USD)
<b>Circuito Integrado MAX485</b>	2	5.9 (\$ USD)	11.8 (\$ USD)
<b>Módulo Conversor AC/DC – 220VAC/5VDC (Alimentación)</b>	1	4.96 (\$ USD)	4.96 (\$ USD)
<b>Módulo de comunicación de red celular</b>	1	9.8 (\$ USD)	9.8 (\$ USD)
<b>Memoria No Volátil (8 Mbit)</b>	2	2.8 (\$ USD)	5.6 (\$ USD)
<b>Diseño y fabricación placa PCB</b>	1	20 (\$ USD)	20 (\$ USD)
<b>Componentes adicionales (Resistencias, Capacitores, Transistores, etc)</b>	-	5 (\$ USD)	5 (\$ USD)
<b>Diseño y fabricación de módulo externo</b>	1	10 (\$ USD)	10 (\$ USD)
<b>Total</b>			<b>70.16 (\$ USD)</b>

El costo de la fabricación indicado corresponde a la fabricación de la placa electrónica, componentes de la placa, módulo externo y los diseños de ingeniería previos correspondientes.

Adicionalmente, considerando los componentes y módulos mencionados previamente, se muestra el detallado del consumo máximo de potencia del dispositivo diseñado en su totalidad.

*Tabla 6. Consumo de potencia de modulo*

Ítem	Dispositivo Marca/Modelo	Descripción	Cantidad	Consumo Máximo Total
1	BCM2835	Microprocesador	1	1190 mW
2	MAX485	Transceptor TTL – RS485	1	830 mW
3	A7608SA-H	Módulo de comunicación de red celular	1	1995.26 mW
5	27C160	Memoria No volatil	1	892.5 mW

De acuerdo a la tabla 5, considerando el funcionamiento del módulo de lectura de medidores a máxima operación, el dispositivo consumiría un total de 5.73 W de potencia.

#### 4.5.2. Análisis OPEX

En referencia al análisis OPEX del sistema, se consideran los siguientes costos operacionales:

- Instancia EC2 (Servidor virtual) en la nube de AWS [64]
- Almacenamiento en la nube para base de datos [65]

En el caso de la cantidad de espacio de almacenamiento a considerar, se tomaron en cuenta los siguientes requerimientos:

- Se realizará una lectura diaria a cada medidor
- Se debe tener capacidad para 2000 medidores multifunción
- Cada archivo de lectura ocupará una cantidad de memoria de 183 bytes, donde se encontrará los siguientes datos:

- Energía activa importada total (kWh-import)
- Energía activa exportada total (kWh-export)
- Energía reactiva importada total (kVARh-import)
- Energía reactiva exportada total (kVARh- export)
- Fecha
- Hora
- Número de serie del medidor

Sobre la base de los requisitos mencionados, se considerará un espacio de almacenamiento de datos en la nube de 512 MegaBytes, el cual permite guardar hasta 4 años de información de 2000 medidores multifunción según el esquema mencionado previamente.

A continuación, se muestra la tabla con los costos OPEX respectivos:

*Tabla 7. Costo OPEX*

<b>Ítem</b>	<b>Costo estimado mensual</b>
<b>Instancia EC2</b>	25 (\$ USD)
<b>Almacenamiento de base de datos (512 MegaBytes)</b>	57.6 (\$ USD)
<b>Factor humano de mano de obra (Ensamble de módulo externo y configuración de sistema embebido)</b>	10 (\$ USD)

<b>Ingeniería previa (Requisitos de fabricación y configuración)</b>	5 (\$ USD)
<b>Total</b>	<b>97.6 (\$ USD)</b>

### 4.5.3. Resumen de costos del sistema

El costo total del sistema, a nivel de fabricación del hardware necesario y ensamblaje del módulo, tendría un costo aproximado de 70.16 \$ USD, lo cual incluye componentes electrónicos y circuitos integrados, así como el desarrollo, fabricación en una tarjeta electrónica y módulo externo

Por otro lado, debido a que el objetivo del presente trabajo es brindar una solución que implique tanto hardware como software, se tienen costos operacionales referentes al uso de la aplicación necesaria para visualización de información, así como el costo mensual del servidor virtual en el cual se ejecuta la aplicación, la base de datos en donde se almacena toda la información y el costo humano de ensamblaje y configuración del módulo. Dichos costos tendrían un valor aproximado de 97.6 \$ USD.

### Conclusiones y aporte de la tesis

A continuación, se describirán las conclusiones correspondientes al trabajo de tesis presentado.

- Se verificó el adecuado funcionamiento del sistema embebido propuesto para la conexión y lectura de medidores de energía multifunción conectados a un único bus de comunicación RS - 485.

- El uso de los transceptores MAX485 permite establecer un canal de comunicación bidireccional entre los medidores multifunción y la unidad de control con solo el uso de 2 pines de comunicación serial en la unidad de control.
- Se verifica el correcto envío de información de datos recolectados de los medidores hacia la base de datos alojada en la nube.
- El uso de un servidor alojado en la nube brinda la facilidad de acceso al usuario a la información de su consumo energético con solo el uso de una conexión a internet.
- El uso de una base de datos alojada en la nube, cuyo acceso es configurable vía una Lista de Acceso, brinda seguridad a la información almacenada al permitir el consumo de data solo a la aplicación del presente trabajo.
- Las librerías planteadas de GURUX/DLMS permite la adecuada generación de tramas a enviar y recibir por los medidores para la obtención de datos en función la dirección del medidor, ID del cliente, nivel de autenticación, etc. Por otro lado, las librerías y código fuente utilizados para la lectura de información son adaptables a distintos lenguajes de programación, lo cual brinda versatilidad en la unidad de control a utilizar.
- Se verifica la conexión y recolección de datos de los medidores multifunción sin hacer uso de softwares propietarios de los medidores.
- Se verifica la correcta presentación de datos en las diferentes vistas de la interfaz web, lo cual brinda al usuario la posibilidad de exportar la información para el análisis respectivo.

El aporte principal del presente trabajo de tesis radica en que brinda a las empresas de distribución de energía eléctrica una solución para automatizar su proceso de facturación respectivo de sus clientes mayores, lo reduce costos operacionales como son transporte

de personal u horas-hombre utilizadas en los procesos de lectura de cada medidor individual.

Adicionalmente, se presentan otros aportes de la tesis desde 3 diferentes aspectos:

- Aspecto Social:
  - Desde el aspecto social, el presente trabajo de tesis no solo es una solución para las empresas de distribución de energía eléctrica en su proceso de extracción de información de consumo, sino que también es posible su uso por usuario individuales en casos como proyectos de submedición, control de consumo eléctrico, etc. Para el caso de control de consumo eléctrico, el sistema brinda la posibilidad a los usuarios de mantener un control de la cantidad de energía consumida por medio de la interfaz web, dicho control les permite generar posibles planes de ahorro y detectar consumos anormales dentro de las instalaciones. Por otro lado, en el caso de submedición, es posible utilizar esta solución en casos en los cuales es necesario realizar una diferenciación en el consumo de energía eléctrica, como por ejemplo los edificios de departamentos o galerías comerciales, en los cuales es necesario conocer el consumo individual de cada cliente dentro del respectivo predio, para así brindar mayor exactitud al proceso de facturación, adicionalmente brindarle a los usuarios la capacidad de conocer la información de su propio consumo. Adicionalmente, cada medidor multifunción permite obtener información de posible vulneración interna, lo cual puede afectar la información registrada por el medidor. El sistema propuesto permite obtener dicha información por medio de otro código OBIS disponible en el medidor y mostrar la información en la interfaz web mencionada, lo cual permite a las empresas de distribución

de energía eléctrica tomar conocimiento de un posible hurto de energía eléctrica, para así tomar las acciones correctivas respectivas.

- Aspecto Jurídico:

- Desde el aspecto jurídico, el proyecto de tesis presentado brinda una solución a las empresas de distribución de energía eléctrica frente a su necesidad de implementar sistemas de medición inteligente, de acuerdo con los Decretos Supremos N°018-2016 y N°028-2021 [14], [15]. Adicionalmente, debido a que es una solución que utiliza medidores electrónicos actualmente certificados y homologados ante INACAL, permite a las empresas de distribución de energía eléctrica mantenerse dentro de las bases metrológicas legales exigidas en el Perú, sin necesidad de modificar o cambiar los equipos utilizados para el proceso de facturación a sus clientes. Por otro lado, se utilizan módulos de comunicación celular que se encuentran certificados ante el Ministerio de Transportes y Comunicaciones bajo las normas legales respectivas para asegurar su adecuado funcionamiento dentro del espectro radioeléctrico peruano, dicha característica brinda a los usuarios del sistema la seguridad de un equipo certificado y que cumplirá con los requisitos del mercado peruano.

- Aspecto Ambiental:

- Desde el aspecto ambiental, el uso de la solución propuesta brinda la capacidad de implementar una red Smart Grid o red de lectura inteligente de medidores multifunción en las diferentes concesionarias de energía eléctrica, lo cual ayuda a automatizar el proceso de recolección de energía

eléctrica. Por otro lado, el uso del sistema propuesto reduce la necesidad de transporte de personal a cada punto de medición durante los procesos de facturación, lo cual implica una reducción de gasto operativo tanto en transporte de personal, consumo de combustible (emisión de CO<sub>2</sub>), equipos de toma de lectura y horas – hombre utilizadas en dicho proceso.

## **Recomendaciones y trabajo futuros**

Finalmente, se mencionan las recomendaciones correspondientes para los posibles trabajos futuros.

- Realizar la implementación del sistema embebido diseñado en una tarjeta electrónica PCB a fin de reducir el costo y espacio a utilizar en las conexiones.
- Debido a la existencia de las librerías de GURUX/DLMS en distintos lenguajes de programación como C, C++, Java, etc. Es posible realizar las pruebas e implementación de los códigos fuente en otras arquitecturas de unidades de control para otros objetivos.
- Debido a que el protocolo DLMS/COSEM es un protocolo de tipo abierto de comunicación de medidores multifunción, es posible integrar más modelos y marcas de medidores de distintos fabricantes al sistema.
- Incluir más opciones de navegación y consulta de información en la interfaz web para la visualización de datos de los medidores, como puede ser filtros por marca y modelo, intervalos de tiempo para visualización de datos, tipos y estilos de gráficas, etc.

## **Bibliografía:**

- [1] N. Automation, "CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE RS485 Y RS422 INTRODUCCIÓN."
- [2] "DLMS: Device Language Message Specification | dlms." Accessed: Nov. 24, 2020. [Online]. Available: <https://www.dlms.com/>
- [3] C. Specification, "for Energy Metering Blue Book Edition 12 . 2 and OBIS Object Identification System DLMS User Association," pp. 1–229, 2017.
- [4] D. Cosem, "Companion Specification for Energy Metering Green Book Ed . 9," 2019.
- [5] Maxim, "Max 485," 2010.
- [6] OSINERGMIN, *La Industria de la Electricidad en el Perú*. 2016. [Online]. Available: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf)
- [7] G. R. Barai, S. Krishnan, and B. Venkatesh, "Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - A review," *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference: Smarter Resilient Power Systems, EPEC 2015*, pp. 138–145, 2016, doi: 10.1109/EPEC.2015.7379940.
- [8] E. F. Livgard and A. Tns, "Smart Metering Opportunity or Threat To the," pp. 1–4, 2010.
- [9] A. L. Vásquez, C. Lima, and A. L. Vásquez Cordano, "Aspectos económicos de la implementación de redes inteligentes (smart grids) en el sector eléctrico peruano," 2017.
- [10] V. G. Vilas, A. Pujara, S. M. Bakre, and V. Muralidhara, "Implementation of metering practices in smart grid," *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials, ICSTM 2015 - Proceedings*, no. May, pp. 484–487, 2015, doi: 10.1109/ICSTM.2015.7225465.
- [11] "Empresa Semestre I / II Total Año 2020 Participación (%)."
- [12] S. Nimbargi, S. Mhaisne, S. Nangare, and M. Sinha, "Review on AMI technology for Smart Meter," *2016 IEEE International Conference on Advances in Electronics, Communication and Computer Technology, ICAECCT 2016*, pp. 21–27, 2017, doi: 10.1109/ICAECCT.2016.7942549.
- [13] N. GESTIÓN, "Economía: ¿En qué consisten los medidores inteligentes de energía? | NOTICIAS GESTIÓN PERÚ," 2017.
- [14] E. P. Diario, "DS-N°018-2016-EM."
- [15] "DS-N°028-2021," 2021.
- [16] intellimeter, "¿Qué es la submedición?," <https://blog.intellimeter.com/esp/qu%C3%A9-es-la-sub-medici%C3%B3n#:~:text=La%20sub%2Dmedici%C3%B3n%20es%20un,el%20uso%20de%20dichos%20servicios>.

- [17] E. Saravia Valle, M. E. Ruiz Rivera, M. E. Ruiz Rivera, R. Calmet Agnelli, and R. Calmet Agnelli, "Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología Bluetooth," *Industrial Data*, vol. 16, no. 1, p. 134, 2014, doi: 10.15381/idata.v16i1.6428.
- [18] L. Mesa, "Evaluación de la implantación de medidores inteligentes en clientes empresariales," p. 16, 2014.
- [19] Setiyawan, "IZAR@MOBILE 2 SOFTWARE," *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [20] "Smart TPL - terminal móvil para lecturas de contadores PRIME | Solid Stack." Accessed: Oct. 18, 2020. [Online]. Available: <https://www.solid-stack.com/news/smart-tpl-new-product>
- [21] "Alphacenter," <https://www.alphacnt.ru/cgi-bin/>.
- [22] "01 AlphaCENTER Price-list (export)".
- [23] T. Ranjith and P. Sivraj, "Futuristic Smart Energy Meter – Design Based On Embedded Perspective," no. Iccics, pp. 1379–1384, 2018.
- [24] H. K. Patel, T. Mody, and A. Goyal, "Arduino Based Smart Energy Meter using GSM," *Proceedings - 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2019*, pp. 10–15, 2019, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777490.
- [25] A. L. Vergara and H. M. Villaruz, "Development of an Arduino-based automated household utility power monitoring system," *2014 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2014 - 7th HNICEM 2014 Joint with 6th International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent In*, no. November 2013, pp. 12–17, 2014, doi: 10.1109/HNICEM.2014.7016233.
- [26] "INACAL," <https://www.inacal.gob.pe/metrologia/categoria/metrologia-legal>.
- [27] Instituto Nacional de Calidad - INACAL / Área de Metrología, "Listado de Certificado de Aprobación de Modelo," 2023.
- [28] Instituto Nacional de Calidad - INACAL / Área de Metrología, "Listado de Homologación de certificado de aprobación de modelo," pp. 1–13, 2023.
- [29] T. Sirojan, S. Lu, B. T. Phung, and E. Ambikairajah, "Embedded Edge Computing for Real-time Smart Meter Data Analytics," *SEST 2019 - 2nd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, pp. 0–4, 2019, doi: 10.1109/SEST.2019.8849012.
- [30] S. Saha, S. Mondal, A. Saha, and P. Purkait, "Design and implementation of IoT based smart energy meter," *Proceedings of 2018 IEEE Applied Signal Processing Conference, ASPCON 2018*, pp. 19–23, 2018, doi: 10.1109/ASPCON.2018.8748696.
- [31] Z. Lipošcak and M. Bošković, "Survey of smart metering communication technologies," *IEEE EuroCon 2013*, no. July, pp. 1391–1400, 2013, doi: 10.1109/EUROCON.2013.6625160.
- [32] O. Weis, "Qué es RS485 - comunicación RS485 - RS485 Tester." Accessed: Sep. 30, 2020. [Online]. Available: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>

- [33] K. Gingerich, "Application Report RS-485 Unit Load and Maximum Number of Bus Connections," 2004.
- [34] "DYNAMAT – Energy Management Software » Energy Metering Technology Ltd." Accessed: Oct. 18, 2020. [Online]. Available: <http://energymeteringtechnology.com/products/dynamat/>
- [35] D. V. Arteaga, "Desarrollo de Aplicación Android para comunicación DLMS / COSEM con Smart Meter," 2019.
- [36] F. Casellas, G. Velasco, F. Guinjoan, E. Electrònica, D. E. E. Universitat, and P. De Catalunya, "El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica," no. January 2014, 2010.
- [37] Gerardo Manuel Guerrero Quichiz, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIGITAL CON CONEXIÓN A REDES DE DATOS PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS," *Test*, pp. 1–125, 2007.
- [38] J. Nakandakari and R. Rivero, "Diseño De Un Contador Electrónico De Energía Monofásico Con Comunicación Ethernet Design of an Electronic Single-Phase Energy Meter With Ethernet Communication," *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 28, no. 1, pp. 65–72, 2013.
- [39] EIA, "Comunicación Serial RS-232," pp. 64–66.
- [40] "Diferencia entre RS232 y RS485 | Comparación de Protocolos Serie." Accessed: Nov. 24, 2020. [Online]. Available: <https://www.virtual-serial-port.org/es/article/what-is-serial-port/rs232-vs-rs485.html#RS232>
- [41] V. Llallico, J. Jiménez, and J. Herrera, "Diseño e implementación de un sistema automático de medición de volumen de cajas de 5 cm a 20 cm de lado basado en sensores de proximidad," vol. 1, p. 113, 2015.
- [42] P. S. Meter, "Polyphase Smart Meter Product Manual," 2019.
- [43] J. P. Calderón and S. M. Gómez, "Red de PLC´ S y variadores de velocidad con protocolos Ethernet y Modbus," 2013.
- [44] Ministerio de Transportes y Comunicaciones., "HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS TERMINALES MÓVILES QUE UTILIZAN EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO."
- [45] C. F. Rodríguez, B. A. Calvache, and E. F. Caicedo, "Una propuesta de modelos de datos y protocolos de intercambio de información estandarizados aplicables a sistemas de medida centralizada," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 16, no. 30, pp. 149–167, 2017, doi: 10.22395/rium.v16n30a8.
- [46] A. David and A. Pérez, "Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos".
- [47] R. M. Agustina, "Introducción a los sistemas de tiempo real," 2015.
- [48] "Sistemas embebidos y su aportación a la industria | Oasys." Accessed: Dec. 02, 2020. [Online]. Available: <https://oasys-sw.com/sistemas-embebidos-industria/>
- [49] L. E. F. Bardales, "MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO DE UNA BALANZA DINÁMICA BASADA EN UN SISTEMA EMBEBIDO," 2013.

- [50] OSIPTEL, "ESTADO ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PERU".
- [51] "Gurux for DLMS smart meters." Accessed: Dec. 09, 2020. [Online]. Available: <https://www.gurux.fi/front-page>
- [52] "MongoDB Database," <https://www.mongodb.com/>.
- [53] MUNICH BUSINESS SCHOOL, "CapEx," <https://www.munich-business-school.de/es/l/diccionario-de-estudios-empresariales/capex#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20CapEx%3F,%2C%20terrenos%2C%20maquinaria%20o%20equipos>.
- [54] Conexión Esan, "El capex: Una herramienta clave para el cálculo de los estados financieros," <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-capex-una-herramienta-clave-para-el-calculo-de-los-estados-financieros>.
- [55] "Senli (Electronic Component) BCM2835," [https://www.alibaba.com/product-detail/Senli-Electronic-Component-BCM2835\\_1601021381018.html?spm=a2700.7724857.0.0.57b66701tV9Hp2](https://www.alibaba.com/product-detail/Senli-Electronic-Component-BCM2835_1601021381018.html?spm=a2700.7724857.0.0.57b66701tV9Hp2).
- [56] "Analog Devices Inc. MAX485 Serie Circuito integrado para interfaz RS-422/RS-485," <https://www.mouser.pe/c/semiconductors/interface-ics/rs-422-rs-485-interface-ic/?m=Analog%20Devices%20Inc.&series=MAX485>.
- [57] "Módulo Fuente de Alimentación Aislado de CA a CC HLK-PM01 de 220V a 05 Voltios 600mA," <https://hifisac.com/shop/hlk-pm01-3w-modulo-fuente-de-alimentacion-aislado-de-ca-a-cc-hlk-pm01-de-220v-a-05-voltios-600ma-1557#attr=>.
- [58] "SIMCom A7608SA-H LTE Cat.4 Cellular Wireless Communication Module A7608SA 4G Development Core Board," [https://www.alibaba.com/product-detail/SIMCom-A7608SA-H-LTE-Cat-4\\_1601126565376.html](https://www.alibaba.com/product-detail/SIMCom-A7608SA-H-LTE-Cat-4_1601126565376.html).
- [59] Simcom, "A7608SA-H," <https://en.simcom.com/product/A7608SA-H.html>.
- [60] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN."
- [61] "Decreto Supremo N° 001-2006-MTC".
- [62] "Decreto Supremo N° 019-2019MTC."
- [63] "27C160," <https://www.sigmaelectronica.net/producto/27c160/>.
- [64] AWS, "Precios de las instancias bajo demanda de Amazon EC2," <https://aws.amazon.com/es/ec2/pricing/on-demand/>.
- [65] AWS, "Precios de Amazon EBS," [https://aws.amazon.com/es/ebs/pricing/?did=ap\\_card&trk=ap\\_card](https://aws.amazon.com/es/ebs/pricing/?did=ap_card&trk=ap_card).