

Diseño de un banco de medida de parámetros eléctricos usando medidores comerciales.

Julián Andrés González Laverde, Carlos Eduardo Ibarra Manzano y Juan Sebastian Prince
Acelas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Germán Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería (Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo)

Codirector

Gabriel Ordoñez Plata

Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A Dios, gracias por darme la perseverancia y la capacidad para culminar este proceso, y por la oportunidad de alcanzar este logro. A mis padres, hermanos, abuelo Arnoldo, abuela Oneida, tío Dionicio, tía Aidé, padrinos, tío Gabriel, tía Lady, tía Lucelly, y a mi abuelo Darinel, quien ya no está en este mundo terrenal pero siempre creyó en mí. A todos ellos y demás familiares, les agradezco por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de todo este proceso, y por creer en mí. A mis profesores, amigos y compañeros, especialmente a quienes realizaron este trabajo conmigo, por su compañía y apoyo durante esta etapa llena de experiencias. A todas aquellas personas que creyeron en mí y me brindaron su apoyo, les agradezco de corazón.

Julián Andrés González Laverde.

Este trabajo, que marca la culminación de una etapa muy especial en lo personal, va dedicado a mi mamá, quien me ha dado la vida y siempre me ha apoyado en cada decisión que he tomado; a mi Lita y mi Lito, que han sido mis segundos padres; a mi hermanita Sara; a mi tío Yecid, tía Caya y a mi papá. También a todos mis compañeros y amigos que han contribuido a mi vida para alcanzar este logro, y a mis profesores, que han dedicado su tiempo y esfuerzo en enseñarme cada detalle de esta hermosa carrera.

Juan Sebastian Prince Acelas

A Dios, por ser la guía en cada paso de mi camino académico, dándome sabiduría y fortaleza para superar las adversidades. A mis amados padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio que me permitieron llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y ser mi fuente de inspiración. A Carlos Javier Chanagá Rodríguez, por su amistad inestimable, su apoyo en los momentos difíciles y por compartir esta travesía conmigo. Su compañía y ánimo fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Carlos Eduardo Ibarra Manzano

Agradecimientos

Agradecimientos al Ing. Wilman Morales Rey y WM S.A.S, por su invaluable contribución para la obtención de los datos del medidor YTL DDS 1Y, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de la interfaz y este trabajo de grado. Al Dr. German Osma, al Dr. Gabriel Ordoñez, por su acompañamiento y asesoría durante la realización de este trabajo. A Alejandra Martínez, M. Sc por su tiempo, acompañamiento y asesoría para cada toma de medidas de laboratorio.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Parámetros eléctricos de medición.....	13
3. Esquemas de conexión de medidores y cargas	15
4. Características técnicas de medidores comerciales.....	16
4.1. Puertos de comunicación	16
4.2. Protocolos de comunicación	17
5. Selección del medidor comercial	18
5.1. Criterios de selección del medidor.....	19
5.1.1 Tabla de comparación	19
5.2. Medidor seleccionado	22
6. Interfaz de usuario.....	24
7. Diseño del banco de medidores	26
7.1. Aspectos generales de diseño.....	27
7.2. Presupuesto	28
7.3. Conexión del medidor YTL DDS 1Y	29
7.4. Transferencia de datos	30
7.5. Selección de cargas	33
7.6. Plano eléctrico del banco de medidores.....	34

7.7.	Plano físico del banco de medidores.....	34
8.	Análisis de potencia no activa comparando el analizador de redes PQube3 y el medidor comercial YTL DDS 1Y.....	34
9.	Competencias fortalecidas y desarrolladas por estudiantes a partir de la interacción con un banco de medida.....	39
10.	Conclusiones.....	40
11.	Recomendaciones.....	41
	Referencias bibliográficas.....	42
	Apéndices.....	46

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Resumen y agrupación de las cantidades en sistemas con formas de onda no sinusoidales</i>	15
Tabla 2 <i>Tabla de comparación de medidores comerciales</i>	20
Tabla 3 <i>Presupuesto banco de medidores</i>	28
Tabla 4 <i>Puertos de conexión medidor YTL DDS 1Y</i>	30

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Medidor YTL DDS 1Y</i>	24
Figura 2. <i>Esquema tratamiento datos de interfaz</i>	26
Figura 3 <i>Esquema comunicación entre carga-medidor-computador</i>	27
Figura 4 <i>Esquema de conexión medidor YTL DDS 1Y</i>	29
Figura 5 <i>Concentrador de datos WMC01c</i>	31
Figura 6 <i>Fuente DC 5V Mean Well</i>	32
Figura 7 <i>Montaje de prueba de toma de medidas en laboratorio</i>	36
Figura 8 <i>Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 1</i>	36
Figura 9 <i>Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 2</i>	37
Figura 10 <i>Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 3</i>	38
Figura 11 <i>Esquema de conexión Microstar C2000</i>	50
Figura 12 <i>Esquema de conexión Microstar P2000-D</i>	50
Figura 13 <i>Esquema de conexión Microstar P2000-T</i>	51
Figura 14 <i>Esquema de conexión Genesis II EBM 23</i>	51
Figura 15 <i>Esquema de conexión Genesis III ETM 34</i>	51
Figura 16 <i>Esquema de conexión Genesis IV ETM 34-I</i>	52
Figura 17 <i>Esquema de conexión Maxmeter DDS5558</i>	52
Figura 18 <i>Esquema de conexión Iskra MT-174-T1</i>	52
Figura 19 <i>Esquema de conexión Iskra MT-174-D2</i>	53
Figura 20 <i>Esquema de conexión Microstar D2000</i>	53
Figura 21 <i>Esquema de conexión Genesis 1 AF</i>	53
Figura 22 <i>Esquema de conexión Genesis 1P AF</i>	54

Figura 23	<i>Esquema de conexión Hiking DDS238</i>	54
Figura 24	<i>Esquema de conexión Maxmeter DDS 5558</i>	54
Figura 25	<i>Esquema de conexión Maxmeter DSS 5558</i>	55
Figura 26	<i>Esquema de conexión Maxmeter DTS 5558</i>	55
Figura 27	<i>Esquema de conexión Elster Scorpion</i>	55
Figura 28	<i>Esquema de conexión Elster A150</i>	56
Figura 29	<i>Esquema de conexión Elster A100C</i>	56
Figura 30	<i>Esquema de conexión Elster A1100</i>	56
Figura 31	<i>Esquema de conexión YTL DDS 1Y</i>	57
Figura 32	<i>Esquema de conexión Elster A 1052</i>	57
Figura 33	<i>Esquema de conexión Elster AS 1440</i>	57
Figura 34	<i>Esquema de conexión Inhemeter IT 30</i>	58
Figura 35	<i>Diagrama de flujo acerca de la interfaz</i>	59
Figura 36	<i>Plano eléctrico del banco de medida</i>	60
Figura 37	<i>Plano físico 2D del banco de medida</i>	61
Figura 38	<i>Plano físico 3D del banco de medida</i>	62

Resumen

Título: Diseño de un banco de medida de parámetros eléctricos usando medidores comerciales. *

Autor: Julián Andrés González Laverde, Carlos Eduardo Ibarra Manzano, Juan Sebastian Prince Acelas**

Palabras Clave: Medidor de energía, MODBUS, Interfaz, PQube 3, YTL DDS 1Y.

Descripción:

En este trabajo de investigación se desarrolla el diseño de un banco de medida de parámetros eléctricos que tiene como fin la caracterización de cargas monofásicas, la comparación de los datos obtenidos usando el medidor comercial YTL DDS 1Y y un medidor de referencia, que en este caso es el analizador de redes PQube 3, para así por medio de una interfaz lograr la visualización de los parámetros establecidos en el Standard IEEE 1459-2010 para sistemas monofásicos, que permite cuantificar diferentes parámetros de potencia allí expuestos; se hace posible el análisis de magnitudes de potencia y mediante el uso de gráficas lograr visualizar formas de onda y la influencia de armónicos en la carga medida.

El diseño del banco de medida cuenta con espacios destinados a la instalación de cargas como lo son luminarias mediante tres plafones rosca E27, dos tomacorrientes para la conexión de electrodomésticos de uso diario y se dispone de una bornera tipo jack banana para la conexión de otra carga que se requiera medir.

El uso de un medidor como lo es el analizador de redes PQube 3 permite tener una referencia de gran exactitud para que el usuario pueda crear una comparación de la precisión de los datos medidos con el medidor comercial YTL DDS 1Y, conectado mediante puerto RS485 utilizando un concentrador de datos para permitir la transferencia de las medidas mediante protocolo MODBUS RTU, estos datos se procesan, se muestran al usuario y se genera un reporte de comparación de los parámetros medidos tanto con el medidor PQube 3 como con el medidor comercial en la interfaz de usuario desarrollada.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Germán Alfonso Osma Pinto. Doctor en Ingeniería (Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo). Codirector: Gabriel Ordoñez Plata. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática.

Abstract

Title: Design of an electric parameter measurement bank using commercial meters. *

Author(s): Julián Andrés González Laverde, Carlos Eduardo Ibarra Manzano, Juan Sebastian Prince Acelas **

Key Words: Energy meter, MODBUS, Interface, PQube 3, YTL DDS 1Y.

Description:

In this research work, the design of a bank for measuring electrical parameters is developed, whose purpose is the characterization of single-phase loads, the comparison of the data obtained using a commercial meter YTL DDS 1Y and a reference meter, which in this case is the grid analyzer PQube 3, in order to achieve, through an interface, the visualization of the parameters established in the IEEE Standard 1459-2010 for single-phase systems, which allows quantifying different power parameters exposed there; allowing the analysis of power magnitudes and through the use of graphs it is possible to visualize waveforms and the influence of harmonics on the measured load.

The design of the measurement bank has spaces intended for the installation of loads such as luminaires using E27 threaded ceiling lights, outlets for connecting appliances for daily use and is available of a banana jack type terminal block for connecting any other load that requires measurement.

The use of a meter such as the PQube 3 network analyzer allows for a highly accurate reference so that the user can create a comparison of the precision of the measured data with the commercial meter YTL DDS 1Y, connected through an RS485 port using a data concentrator to allow measure transfer via MODBUS RTU protocol, these data are processed, shown to the user and a comparison report of the parameters measured with both the PQube 3 meter and the commercial meter is generated in the developed user interface.

* Degree Project.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: Germán Alfonso Osma Pinto. Doctor in Engineering (Electrical, Electronic Engineering and Management & Development). Co-director: Gabriel Ordoñez Plata. Doctor in Electrical, Electronic and Automatic Engineering.

Introducción

La industria eléctrica es un pilar de la economía mundial, se ha demostrado una estrecha correlación de forma lineal entre la variación del PIB en Colombia a lo largo de los años y la demanda de energía eléctrica en el país según reportes publicados por XM, esto demuestra el rol fundamental de la industria eléctrica para el desarrollo de la economía en general (XM, 2024).

La medición de parámetros eléctricos cobra gran importancia en el contexto de la actualidad mundial, debido a que los sistemas eléctricos están sufriendo cambios particularmente en las cargas que conectan los usuarios a la red y la entrada de nuevas fuentes de generación de energía eléctrica.

Las mediciones eléctricas son una pieza fundamental dentro del rompecabezas de esta industria, ya que, mediante el uso de medidores se puede lograr la caracterización de cargas y tener un control en tiempo real del comportamiento de la red eléctrica. En el campo de las mediciones eléctricas se está viviendo una transición con la llegada de la tecnología de medición AMI que permite una conexión en tiempo real de medidores y centros de control, esto genera una necesidad en la mejora de las comunicaciones y las formas de recolectar información de los medidores eléctricos.

En el ámbito de la ingeniería eléctrica, la comprensión de los principios de estimación de parámetros y operación de medidores de energía eléctrica se hace esencial para los profesionales del campo. Sin embargo, la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) enfrenta actualmente un desafío significativo: la carencia de la infraestructura necesaria para desarrollar estas competencias entre los estudiantes del programa de Ingeniería Eléctrica. Esta ausencia se manifiesta de manera tangible en la falta de un banco de medidores de energía eléctrica destinado a prácticas pedagógicas e investigación.

A través del diseño de un banco de medidores de energía eléctrica se busca satisfacer las necesidades identificadas para lograr una formación íntegra de profesionales en la rama de la ingeniería eléctrica, fortalecer los conocimientos de los estudiantes en el campo de las mediciones eléctricas, el análisis de datos entregados por medidores comerciales y analizadores de redes y generar la apertura de un nuevo campo de investigación dentro de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T).

Las tecnologías de los medidores actuales tienen la particularidad de permitir al usuario la comunicación de los datos mediante distintos puertos y protocolos de

comunicación, como lo puede ser puerto RS 485, RS 232, RS 422, puertos ópticos, puertos infrarrojos (IR), puertos Ethernet o puertos USB y se utilizan protocolos de comunicación como el Modbus RTU, Modbus TCP/IP, ANSI C12 y el Standard IEC 61850 que permite la transferencia de los datos almacenados por un medidor eléctrico; medidores como el modelo YTL DDS 1Y DDS 1Y cuentan con un puerto de comunicación RS 485 y protocolo de comunicación Modbus RTU permitiéndole al usuario poder conectarse al medidor y extraer datos como tensión, corriente, energía activa, energía reactiva y factor de potencia del sistema medido.

Para el desarrollo del diseño del banco de medida se tienen en cuenta varios aspectos que tendrán como fin brindar una solución al problema establecido, tales como el diseño de un plano eléctrico y plano físico del banco en cuestión, realización de un presupuesto para el montaje del banco de medida, el desarrollo de una interfaz de usuario que permita a los estudiantes y otros interesados tener acceso a los datos medidos en simultáneo utilizando un medidor comercial conectado mediante puerto RS 485 con protocolo de comunicación MODBUS RTU y las medidas obtenidas por un analizador de redes que en este caso es el PQube 3, este permite tener una medición de referencia de datos, los cuales se compararán en una pestaña de la interfaz permitiéndole al usuario una visualización de la exactitud de los datos medidos utilizando un medidor comercial, además se brinda al usuario un informe de las potencias establecidas en el Std IEEE 1459, se muestran gráficas para poder evaluar formas de onda tanto de corriente como de tensión y las componentes armónicas que componen la señal medida.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar un banco fijo de medida de parámetros eléctricos usando medidores comerciales típicos a nivel residencial para la caracterización de cargas monofásicas a ser ubicado en el Laboratorio AT205.

1.2. Objetivos Específicos

Definir los parámetros de medición y esquemas de conexión de medidores y cargas.

Definir características técnicas de los medidores comerciales requeridos para su selección y la operación del banco de medición.

Diseñar una interfaz para la visualización del comportamiento de parámetros eléctricos de cargas en estudio a partir de los datos obtenidos vía comunicación computador-medidores.

Diseñar un banco de medición de parámetros eléctricos según los medidores seleccionados y esquemas de conexión definidos, incluyendo especificaciones físicas, eléctricas y presupuesto.

Realizar un análisis comparativo entre el parámetro de potencia no activa establecido por un medidor comercial y los valores de potencia no activa estimados a partir de muestras adquiridas por un medidor PQube3 para tres cargas.

Definir las competencias que pueden ser fortalecidas y desarrolladas por estudiantes de Ingeniería Eléctrica a partir de la interacción con el banco de medición a ser diseñado.

2. Parámetros eléctricos de medición

Existen dos conceptos fundamentales en la electricidad: la tensión y la corriente. A partir de estos, se derivan una gran cantidad de magnitudes y factores que permiten realizar un análisis en términos de potencia de la carga. Estos parámetros de potencia

están establecidos en el Estándar IEEE 1459:2010, el cual relaciona ecuaciones y métodos de cálculo de cada potencia.

Partiendo de la premisa de que se hace un análisis para sistemas monofásicos, se tiene la definición de tensión como:

$$v = \sqrt{2}V\sin(\omega t) \quad (1)$$

La corriente como:

$$i = \sqrt{2}I\sin(\omega t - \theta) \quad (2)$$

Donde:

V es el valor de tensión en rms.

I es el valor de corriente en rms.

ω es la frecuencia angular $2\pi f$ (rad/s)

f es la frecuencia del sistema de potencia (Hz)

θ es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente (rad)

t es el tiempo (s)

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, se procede a calcular los parámetros de potencia establecidos en el Estándar IEEE 1459:2010, necesarios para el éxito de este trabajo. Estos parámetros incluyen:

- Potencia activa
- Potencia activa armónica (potencia activa no fundamental)
- Potencia reactiva
- Potencia reactiva fundamental (VAr)
- Potencia aparente (VA)
- Potencia aparente fundamental (VA)
- Potencia aparente no fundamental (VA)
- Potencia de corriente de distorsión (VAr)
- Potencia de tensión de distorsión (VAr)
- Potencia armónica aparente (VA)
- Potencia de distorsión armónica (VAr)
- Factor de potencia
- Factor de potencia fundamental
- Potencia compleja (VA)

- Distorsión armónica total (THD)
- Distorsión armónica individual (IHD)

[\(Ver APÉNDICE A\)](#)

Estos parámetros eléctricos enunciados anteriormente son los que van a permitir realizar una comparación en términos de potencia eléctrica de las cargas conectadas al banco de medida.

Tabla 1

Resumen y agrupación de las cantidades en sistemas con formas de onda no sinusoidales

Cantidad o indicador	Combinado	Potencias fundamentales	Potencias no fundamentales
Aparente	S (VA)	S1 (VA)	SN SH (VA)
Activa	P (W)	P1 (W)	PH (W)
No activa	N (var)	Q1 (var)	D1 DV DH (var)
Utilización de línea	FP=P/S	FP1=P1/S1	---
Contaminación armónica	---	---	SN/S1

3. Esquemas de conexión de medidores y cargas

Es necesario conocer los esquemas de conexión de los medidores comerciales [\(ver APÉNDICE B\)](#) que se tendrán en cuenta para el diseño del banco de medida, estos esquemas permiten tener un conocimiento de los diferentes bornes de conexión y puertos de comunicación de datos que pueda presentar cada modelo de medidor, se debe tener en cuenta que cada medidor presenta una configuración de conexión diferente que depende principalmente de los criterios de cada fabricante y del uso para el cual ha sido diseñado. Se evidencian principalmente diferencias en tres aspectos fundamentales las cuales son 1. El tipo de medida ya sea directa, semidirecta o indirecta, 2. Los puertos de

comunicación de datos que presentan para poder extraer las medidas que se realizan y

3. Los parámetros eléctricos calculados por el medidor.

4. Características técnicas de medidores comerciales

Todos los medidores eléctricos comerciales se identifican por sus características técnicas, las cuales abarcan desde los parámetros que permiten medir, hasta los puertos de comunicación de datos con los que se cuenta en cada modelo, referente a esto se plantean algunas definiciones de gran importancia a la hora de hablar de las características técnicas de los medidores eléctricos.

4.1. Puertos de comunicación

Los medidores eléctricos comerciales cuentan con distintas opciones de comunicación de los datos medidos y almacenados; en algunos casos, principalmente en los medidores eléctricos utilizados en el sector residencial se presenta una carencia de puertos de comunicación de datos, en estos modelos se tiene que la única forma de acceder a los parámetros medidos es mediante observación por una pantalla que comunica las medidas en tiempo real; en otros casos se cuenta con uno o más puertos de comunicación que permiten a los usuarios la extracción de los datos medidos de una manera más precisa y rápida.

Algunos de los tipos de puertos de comunicación comunes que se encuentran en los medidores eléctricos son:

- **Puertos Serie:** Estos puertos permiten la comunicación serie, en este tipo de comunicación los datos se transmiten secuencialmente, bit por bit, de esta manera se realiza la comunicación con otros dispositivos, como computadores, PLCs y otros tipos de controladores. Dentro de este tipo de puertos se encuentran los puertos serie RS-232 que son comunes en medidores eléctricos individuales, también los puertos RS-485 y RS-422 que son utilizados para la comunicación en redes de dispositivos distribuidos.
- **Puertos Ethernet:** Estos puertos de comunicación están presentes en algunos medidores eléctricos permitiendo la conexión a redes de área local (LAN) o redes de área extensa (WAN). Estos puertos facilitan la comunicación de los medidores de manera remota a través de internet.

- **Puertos USB:** Están presentes en algunos modelos de medidores más modernos facilitando la conexión con computadores y otros dispositivos que cuenten con puerto USB, presentan una gran facilidad para la transferencia de datos a dispositivos de almacenamiento externo.
- **Puertos infrarrojos (IR):** Algunos medidores comerciales cuentan con este tipo de puerto de comunicación, este permite la transferencia de datos de forma inalámbrica a corta distancia, este puerto es de gran utilidad para fines de configuración local o lectura de datos del medidor.
- **Puertos ópticos:** En este caso los medidores cuentan con este puerto de comunicación que permite la transferencia de datos mediante fibra óptica. Este tipo de puerto presenta la particularidad de brindar una comunicación rápida y segura, principalmente en entornos industriales en los que puede haber presente interferencias electromagnéticas.
- **LoRa:** Los puertos LoRa (Long Range) son canales de comunicación utilizados en redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN), es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance utilizado en redes LoRaWAN ya que permite enviar y recibir datos entre dispositivos finales y estaciones base, con bajo consumo de energía.

4.2. Protocolos de comunicación

Una vez identificados los puertos de comunicación presentes en la mayoría de los medidores comerciales se procede a identificar los protocolos de comunicación, estos son un grupo de reglas y estándares que definen cómo los dispositivos intercambian información. Los protocolos de comunicación son el idioma que utilizan los dispositivos para comunicarse entre sí de manera efectiva.

Los protocolos de comunicación en medidores eléctricos dependen de los requerimientos del sistema de medición y las especificaciones técnicas del medidor, algunos de los protocolos más comunes utilizados son:

- **Modbus:** Es un protocolo de comunicación serial al cual se le da un amplio uso en sistemas de automatización industrial, también en sistemas de control de energía y en mediciones eléctricas. Se presentan dos variantes de este protocolo, las cuales son: Modbus RTU (Conexión serial) y Modbus TCP/IP (Conexión Ethernet).

- **DNP3 (Distributed Network Protocol):** Este protocolo de comunicación es ampliamente utilizado en aplicaciones de automatización y control, en sistemas de medición eléctrica y de agua. Presenta la ventaja de proporcionar algunas funciones avanzadas como confirmación de entrega, sincronización de relojes y soporte de datos históricos.
- **IEC 61850:** Este estándar de comunicación es utilizado principalmente en sistemas de automatización y control de subestaciones eléctricas, ya que proporciona una arquitectura de red común para comunicación entre dispositivos de subestación y medidores eléctricos.
- **IEC 62056-21:** También se le conoce como IEC 61107 o IEC 1107, es un estándar internacional desarrollado por IEC específicamente para la comunicación entre medidores eléctricos y dispositivos de adquisición de datos, se utiliza comúnmente para lectura remota de medidores; este protocolo utiliza comunicación serie a través de puerto óptico, pero también se puede implementar sobre otros puertos como RS-232 o RS-485.
- **DLT/645:** También conocido como DL/T, es un estándar utilizado en China para la lectura y el control de medidores eléctricos, la comunicación se puede efectuar mediante varios puertos como conexiones serie RS-232, RS-485 o redes de área local (LAN).
- **DLMS/COSEM:** Este es un protocolo de comunicación diseñado específicamente para la lectura y gestión remota de medidores eléctricos. Es usado ampliamente en aplicaciones de telegestión.
- **ANSI C12:** Es un conjunto de estándares desarrollados por el American National Standards Institute (ANSI) especialmente para las aplicaciones de medición eléctrica, en este se definen protocolos de comunicación para la lectura y control de medidores eléctricos. Es utilizado principalmente en América del Norte.

5. Selección del medidor comercial

Una sección fundamental del presente trabajo radica en ejecutar pruebas piloto del funcionamiento del banco de medida a diseñar, es por esto por lo que se debe someter a estudio una amplia variedad de medidores eléctricos presentes en la oferta del mercado, la finalidad de esto es poder establecer criterios de comparación entre diferentes modelos,

para lograr tener un panorama claro de qué tipos de medidores son de utilidad para dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

5.1. Criterios de selección del medidor

Se requiere plantear criterios que permitan la selección de algún modelo de medidor eléctrico que satisfaga las necesidades del presente trabajo. Teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos que tienen influencia sobre la escogencia entre un modelo u otro. Los criterios de selección planteados son los siguientes:

Precio	Frecuencia
Marca / Fabricante	Tensión
Número de fases	Clase de precisión
Número de hilos	Puertos de comunicación
Tipo de medida	Peso
Dirección / Número de cuadrantes	Certificación
Corriente máxima	

5.1.1 Tabla de comparación

Para tener un panorama claro y organizado de las opciones de medidores eléctricos con las que se cuenta en el mercado, se realiza una investigación y se recopilan los aspectos técnicos fundamentales de los medidores que permitan la selección de algún modelo.

Se realizó una recopilación de información de 25 modelos diferentes de medidores eléctricos comerciales, consultando los datasheet proporcionados por los fabricantes se identifican las características principales, esta consulta de información se hizo en las páginas web de comercializadores de este tipo de equipos y en las páginas de los fabricantes; los parámetros seleccionados para realizar la tabla permiten una comparación en términos técnicos, esto hace posible realizar la selección de un medidor eléctrico comercial y así llevar a cabo las pruebas de funcionamiento del banco de medidores.

Tabla 2*Tabla de comparación de medidores comerciales*

	Nombre	Precio	Marca	F	h	Tipo de medida	Dirección	I m	f	V	C A	C R	Puerto de comunicación	Protocolo	Peso	Certificación
1	MICROS TAR C2000	\$ 490.0 00	MICRO STAR	1	2/ 3	DIRECTA	BIDIRECCI ONAL	10 0	50/ 60	120	1		Puerto de comunicación	DLMS, IEC 62056 -21, o MODB US	1	
2	MICROS TAR P2000-D	\$ 1.150. 000	MICRO STAR	3	4	DIRECTA	BIDIRECCI ONAL	16 0	50/ 60	65-480	1	2	Puerto de comunicación	DLMS, IEC 62056 -21, o MODB US	2	RETIE
3	MICROS TAR P2000-T	\$ 1.850. 000	MICRO STAR	3	3/ 4	SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	10	60	57-480	0, 5S	2	Puerto de comunicación	DLMS, IEC 62056 -21, o MODB US	2	RETIE
4	Medidor Bidireccio nal ELSTER A1800	\$ 2.650. 455	ELSTER	3	4	Indirecta	Bidireccional , unidireccional (opcional)	10	50/ 60	58 - 528	1	2	ANSI C12.1 8, C12.1 9, C12.2 1	RS-232, RS-485		
5	GENESIS II EBM 23	\$ 238,0 00	INELCA	2	3	DIRECTA , SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	10 0	60	2*120/208	1	2	RS-485 (Opcional)		0.2	
6	GENESIS III ETM 34	\$ 280,0 00	INELCA	3	4	SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	10 0	60	3*120/208	1	2	RS-485 (Opcional)		0.2	
7	GENESIS IV ETM 34-I	\$ 650,0 00	INELCA	3	4	SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	6	60	3*120/208	1	2	RS-485 (Opcional)		0.2	
8	MAXMET ER DDS5558	\$ 70,00 0	MAXME TER	1	2	DIRECTA		10 0	60	120	1		Óptico / Infrarrojo / RS485 (Opcional)	MODB US, DLT / 645, IEC11 07	0.6	RETIE
9	ISKRA MT- 174 - T1	\$ 980,0 00	ISKRA	3	4	SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	6	60	3*120/208	1	2	Óptico, RS 485	IEC 1107		
10	ISKRA MT- 174 - D2	\$ 850,0 00	ISKRA	1 , 2	2, 3	DIRECTA	BIDIRECCI ONAL	12 0	60	3*120/208	1	2	Óptico, RS 486	IEC 1107		

													21 NTC 4052	
2 3	A1052		ELSTER	3	4	DIRECTA	UNIDIRECC IONAL	12 0	50/ 60	96-288	1	2	Salida de pulsos (Secuenci al SO/EN 62053- 31)	1 IEC 62053- 21 NTC 4052
2 4	AS1440	\$ 1,400, 000	ELSTER	3	4	DIRECTA , INDIREC TA	BIDIRECCI ONAL	12 0	60	120/208±2 0%	0, 5S y 1		IEC 62053- 21-22 NTC 2147 y 4052	
2 5	IT30	\$ 1,783, 400	INHEME TER	3	4	INDIREC TA, SEMIDIR ECTA	BIDIRECCI ONAL	10	60	3x58/100 a 3x277/480	0, 5s	2	RS-232, RS-485	28

Nota. **F:** Número de fases, **H:** Número de hilos, **Im:** Corriente máxima, **f:** Frecuencia, **V:** Tensión, **CA:** Clase de precisión de energía activa, **CR:** Clase de precisión de energía reactiva, **Peso:** Peso en kilogramo. Las casillas que aparecen en blanco son aquellos datos de los que no se encontró información.

5.2. Medidor seleccionado

Luego de realizada una exhaustiva investigación sobre las características técnicas de los medidores comerciales, se debe seleccionar un modelo en específico para la utilización en la prueba piloto del funcionamiento del banco de medida y la interfaz de usuario. Teniendo en cuenta los diferentes criterios técnicos de selección evaluados anteriormente se debe seleccionar el modelo de medidor que cumpla con los requerimientos establecidos para poder dar cumplimiento a la prueba que se espera realizar.

El medidor seleccionado para este fin es el modelo YTL DDS 1Y el cual presenta puntos a favor por sobre los otros modelos mencionados, a continuación, se enumeran los puntos de comparación establecidos:

- **Precio:** En cuanto al costo de adquisición del equipo, el medidor YTL DDS 1Y presenta una ventaja por sobre los otros modelos, ya que la universidad cuenta con diferentes ejemplares de este modelo, por lo tanto, se pudo acceder de manera sencilla a los medidores para realizar las pruebas de funcionamiento pertinentes.

- **Puertos de conexión:** Referente a los puertos de comunicación de datos con los que cuenta el modelo YTL DDS 1Y también representa un punto a favor, ya que cuenta con puerto RS 485 el cual permite la comunicación serial del medidor al computador donde se tiene almacenado el programa de la interfaz gráfica de procesamiento de datos.
- **Protocolo de comunicación:** En lo que respecta al protocolo de comunicación, al ser un medidor que cuenta con puerto RS 485 se utiliza el protocolo Modbus RTU para lograr una correcta transferencia de datos hacia la interfaz de usuario, este es un punto a favor ya que existe una amplia documentación, permitiendo el montaje de un código que permita la comunicación entre el medidor y el dispositivo de adquisición de datos.
- **Documentación existente:** En este punto se presenta una desventaja ya que la documentación específicamente del modelo YTL DDS 1Y existente en internet es prácticamente nula, obligando a realizar una búsqueda de personal que cuente con los conocimientos sobre este modelo en específico para poder consultar sobre las características técnicas del medidor.
- **Dimensiones y peso:** En cuanto a las dimensiones y peso del medidor eléctrico este modelo presenta características ideales, ya que este modelo se presenta en dimensiones reducidas permitiendo así una sencilla acomodación dentro del diseño físico y eléctrico del banco de medición.
- **Datos entregados:** En lo que respecta a los datos entregados por el medidor YTL DDS 1Y se encuentra una ventaja muy grande en comparación al resto de medidores eléctricos caracterizados, ya que la cantidad de parámetros medidos es superior, permitiendo extraer datos de fecha, hora, tensión, corriente, potencia activa y reactiva, energía activa, energía reactiva, factor de potencia y frecuencia, todos estos datos se pueden extraer mediante el puerto RS-485 utilizando el protocolo de comunicación Modbus RTU, además se pueden visualizar en la pantalla LCD con la que cuenta el medidor.

Figura 1*Medidor YTL DDS 1Y*

Nota. Medidor bifilar monofásico con retroiluminación certificado MID, por YTL (<https://es.ytl-e.com/product/energy-meter/single-phase-two-wire-measuring-communication.html>).

6. Interfaz de usuario

Para desarrollar una interfaz gráfica de usuario que permita la conexión y lectura de datos de los medidores, se utilizó el App Designer de MATLAB. Esta herramienta facilitó la creación de una aplicación que procesa archivos proporcionados por el usuario y muestra los resultados en pantalla. El medidor utilizado como referencia fue el PQube3. A partir de los datos obtenidos de este medidor, se calculan los parámetros según el estándar IEEE 1459 y se presentan gráficos que ayudan al usuario a entender el comportamiento de las señales de tensión y corriente de la carga en estudio. Además, se incluyen gráficos de las componentes armónicas y, finalmente, se ofrece una comparación basada en la diferencia porcentual de los resultados obtenidos. Esto se realiza con el objetivo de determinar la precisión de la medición del medidor comercial en evaluación, comparándola con la medición obtenida mediante el analizador de redes PQube3. La interfaz está compuesta por 12 pestañas, cada una con una función específica:

1. **Presentación:** Muestra el nombre del proyecto y los responsables de su desarrollo.
2. **Carga | Información:** Permite al usuario añadir información de la carga, como nombre, tipo, valores nominales, descripción e imagen.
3. **PQube3 | Información:** Proporciona detalles del medidor utilizado, incluyendo imagen, nombre, desarrollador y una breve descripción.

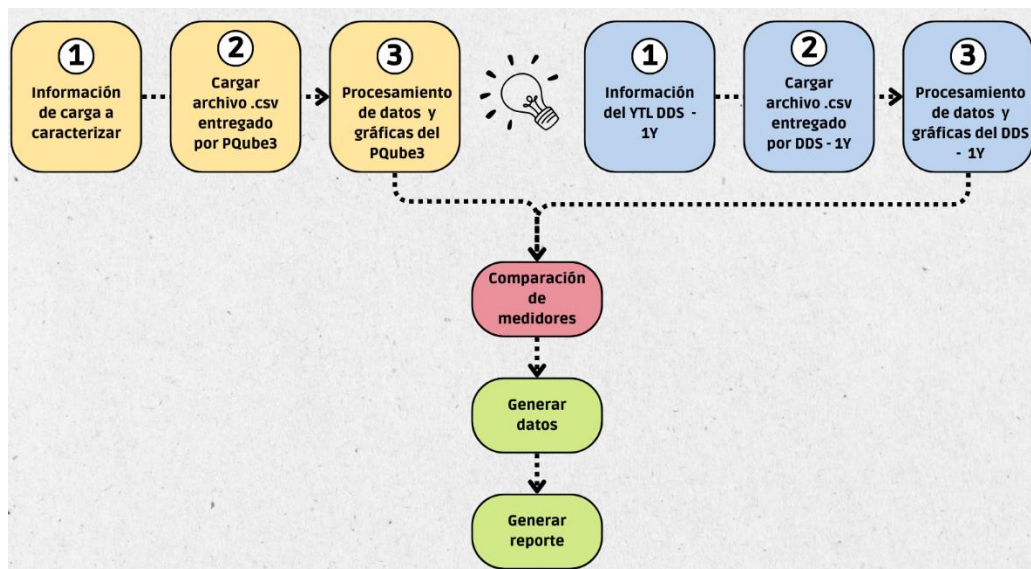
4. **PQube3 | Cargar datos:** Lee los datos del archivo .csv entregado por el medidor PQube3 y presenta una tabla con estos datos, permitiendo seleccionar la fase correspondiente en la cual se realizó la medición luego de extraer los datos. El usuario puede cargar un nuevo archivo si necesidad re reiniciar la aplicación.
5. **PQube3 | Tablas (V e I):** Calcula y presenta componentes fundamentales y distorsión, así como parámetros de tensión y corriente.
6. **PQube3 | Tablas (P):** Presenta los datos de potencias calculadas conforme al estándar IEEE 1459 y la tabla de Budeanu-Fryze.
7. **PQube3 | Gráficas:** Presenta las señales de tensión y corriente en formato sinusoidal simultáneamente, en un gráfico para facilitar el análisis del comportamiento de dichas señales y gráficos del porcentaje de cada componente armónico en formato de barras respecto al valor de la componente fundamental de tensión y corriente que también se presenta dentro de esta gráfica.
8. **DDS-1Y | Información:** Proporciona detalles del medidor a comparar, incluyendo imagen, nombre, desarrollador y una breve descripción.
9. **DDS-1Y | Cargar datos:** Lee los datos del archivo .csv entregado por el medidor DDS-1Y y presenta una tabla con estos datos.
10. **DDS-1Y | Tabla:** Formatea la tabla proporcionada en la anterior pestaña y encuentra automáticamente la fila de datos a utilizar comparando el tiempo en el cual se capturaron los datos en el medidor de referencia PQube3. El tiempo de captura de los datos se extrae directamente del archivo .csv del medidor PQube3
11. **Medidor | Información:** Permite añadir un tercer medidor, ingresando los valores manualmente para posteriormente almacenarlos en memoria. En esta pestaña se puede agregar una imagen del medidor adicional.
12. **Comparación:** Genera tablas de comparación entre el medidor de referencia PQube3 y los dos medidores, en el caso de que solo se utilice un medidor, solo se generará una tabla de comparación. Finalmente, luego de presentada la tabla permite generar un reporte en formato .pdf que el usuario podrá almacenar donde deseé.

Para el correcto funcionamiento de la interfaz, es necesario tomar los datos de todos los medidores conectados en paralelo, ya que el medidor PQube3 captura datos en un instante de tiempo específico y en este caso el YTL DDS-1Y registra medidas cada minuto, en caso de utilizar otro medidor podría variar el tiempo de captura y entrega de datos. Después de la medición, los datos se extraen en un archivo .csv que el usuario puede almacenar y cargar en la interfaz. La

búsqueda de coincidencias horarias realizada automáticamente por la interfaz permite determinar los datos que corresponden al periodo de tiempo de medición en cuestión, por esto es importante que la toma de datos se lleve a cabo en simultaneo.

La interfaz procesa los datos utilizando las fórmulas propuestas en el estándar IEEE 1459 y que fueron presentadas anteriormente, por lo que se le recomienda al usuario seguir las instrucciones proporcionadas en cada pestaña para el correcto desarrollo de las actividades, asegurando un uso eficiente de la interfaz, la cual cuenta con instrucciones claras, solo se mostrará una advertencia si el usuario carga de manera errónea un archivo .csv que no corresponda a la pestaña en cuestión.

Figura 2. Esquema tratamiento datos de interfaz



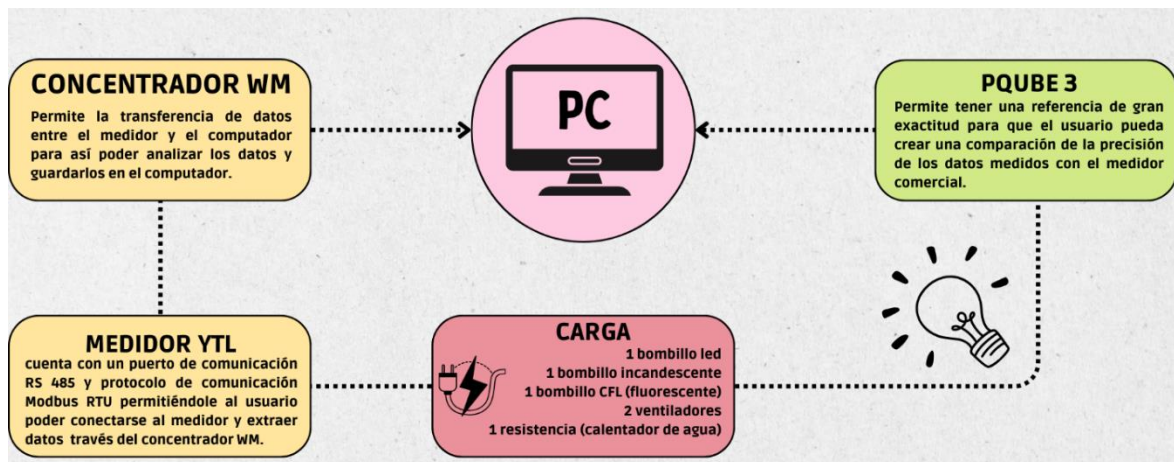
7. Diseño del banco de medidores

En este capítulo se expondrán los procedimientos y conceptos que se tuvieron en cuenta al momento de realizar el diseño del banco de medidores eléctricos, partiendo de los conceptos consignados anteriormente y una vez seleccionado el medidor eléctrico comercial al que se le dará uso para las pruebas piloto de funcionamiento del banco de medida. Se procede a establecer los criterios de diseño, estos criterios ayudarán a definir puntos clave que se deben tener en cuenta para lograr un diseño que cumpla con los objetivos especificados.

Se procede a definir los principios que se tienen en cuenta para lograr diseñar efectivamente el banco de medidores; estas son características primordiales para tener en cuenta tales como medidas físicas de los elementos a situar, peso de los elementos, materiales, diseño de planos eléctricos y planos físicos del montaje final del banco de medida, entre otros aspectos que se enunciarán a continuación.

Figura 3

Esquema comunicación entre carga-medidor-computador



Nota. Elaboración propia, esquema explicativo sobre la comunicación de datos entre la carga, medidores y computador.

7.1. Aspectos generales de diseño

En términos generales se requiere elaborar un diseño de un banco de medida de parámetros eléctricos mediante el uso de un medidor comercial y un analizador de redes PQube 3 que se utilizará como referencia de las medidas tomadas por el medidor YTL DDS 1Y, se recopilarán los datos medidos por ambos elementos utilizando los puertos de comunicación con los que se cuenta, en el caso del medidor YTL DDS 1Y se utiliza el puerto RS-485 y utilizando protocolo de comunicación Modbus RTU, mediante el uso de un concentrador de datos WMC01c donado por parte de WM S.A.S se realiza la captura y transferencia de los datos hacia la interfaz de usuario, en el caso del PQube 3 se tiene la opción de extraer los datos vía USB o mediante el uso de cable Ethernet. Dichos archivos de datos se deben almacenar en el dispositivo en el que se tiene instalada la

interfaz de usuario, para posteriormente subirlos al programa y mediante este realizar un análisis detallado de los parámetros eléctricos.

7.2. Presupuesto

A continuación, se dispone de una tabla de referencia de precios para el mes de abril de 2024 para la construcción del banco de medida de parámetros eléctricos.

Tabla 3

Presupuesto banco de medidores

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Anticorrosivo en laca	gal	1	\$ 57,000	\$ 57,000
Bombillo CFL	U	1	\$ 7,000	\$ 7,000
Bombillo incandescente	U	1	\$ 4,500	\$ 4,500
Bombillo LED	U	1	\$ 6,000	\$ 6,000
Borneras	U	8	\$ 2,500	\$ 20,000
Breaker 3A	U	1	\$ 15,000	\$ 15,000
Cable #12 AWG	m	15	\$ 2,600	\$ 39,000
Cable Ethernet	U	1	\$ 22,000	\$ 22,000
Caja de medidor	U	1	\$ 54,000	\$ 54,000
Concentrador WM	U	1	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
Fuente DC MW	U	1	\$ 168,000	\$ 168,000
Interruptor sencillo	U	5	\$ 2,500	\$ 12,500
Lámina metálica calibre 18 2 x 1m	U	5	\$ 129,500	\$ 647,500
Mano de obra	U	1	\$ 480,000	\$ 480,000
Medidor YTL DDS 1Y	U	1	\$ 300,000	\$ 300,000
Pintura en laca	gal	1	\$ 107,200	\$ 107,200
Plafón E27	U	3	\$ 5,000	\$ 15,000
Riel din	m	2	\$ 8,000	\$ 16,000
Tabla 15mm 1.22 x 2.44m	U	1	\$ 177,000	\$ 177,000
Tomacorriente doble	U	2	\$ 7,500	\$ 15,000
Tubo metálico 1-1/2 x 1-1/2"	U	2	\$ 36,000	\$ 72,000
			Valor total	\$ 4,234,700

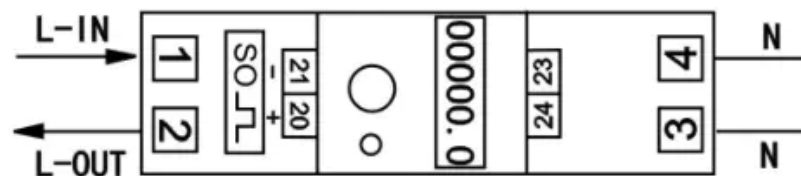
7.3. Conexión del medidor YTL DDS 1Y

Anteriormente se ha realizado un análisis de diferentes modelos de medidores eléctricos comerciales que cuentan con características técnicas las cuales fueron consignadas en la Tabla 2, posteriormente se realizó un análisis de los aspectos fundamentales para la escogencia de un modelo específico, esto arrojó al modelo YTL DDS 1Y como el medidor eléctrico adecuado para el desarrollo del proyecto. Analizando los aspectos técnicos del medidor se puede determinar que es un medidor monofásico de dos hilos, cuenta con una pantalla LCD que permite visualizar las medidas en tiempo real, en esta se muestran datos como potencia activa, potencia reactiva, energía activa, energía reactiva, tensión, corriente, frecuencia y factor de potencia, cuenta con dos puertos de comunicación de datos como lo son el RS-485 y un puerto a pulsos; adicionalmente para temas de instalación en el banco de medida este cuenta con la posibilidad de conexión a riel DIN.

A continuación, se muestra el esquema de conexión del medidor:

Figura 4

Esquema de conexión medidor YTL DDS 1Y



Nota. Adaptado de Single Phase Two-Wire, por SGE, 2024, SGE (https://sge-electric.com/1/files/iLUH4yjtIjUGyEIXsx2bu9NKOEsS5NjNPFMYojMe/95dea6361654e2f0f4c45cf0b8efd834_ConDiagram.jpg).

Identificando los puertos de conexión de la siguiente manera:

Tabla 4*Puertos de conexión medidor YTL DDS 1Y*

#	Función del puerto
1	Borne de conexión entrada de línea alimentación
2	Borne de conexión salida de línea a carga
3	Borne conexión neutro
4	Borne conexión neutro
20	Puerto salida a pulsos
21	
23 24	Puerto RS-485

El medidor debe ser conectado a la red de alimentación mediante los bornes 1 y 4, mientras que la carga que se requiere medir se conecta entre los bornes 2 y 3.

7.4. Transferencia de datos

Referente a la recolección y transferencia de datos desde el medidor hacia el dispositivo en el que se encuentra instalada la interfaz de análisis, se cuenta con dos puertos de comunicación en el YTL DDS 1Y, un puerto a pulsos y un puerto RS-485, también se requiere utilizar un protocolo de comunicación que permita la conexión medidor-computador, el protocolo que se ha optado utilizar para este caso es el Modbus RTU, el cual da la posibilidad de realizar la transferencia de datos utilizando el puerto RS-485. Referente a este protocolo de comunicación se ha identificado que los fabricantes de estos dispositivos designan direcciones de Modbus específicas para cada modelo de medidor, estas direcciones permiten acceder a los datos almacenados en memoria, la forma de acceder a dicha información de las direcciones Modbus es remitiéndose a las hojas de especificaciones o manuales de usuario que brinda cada fabricante.

Adicionalmente para lograr la transferencia de datos desde el medidor hasta el computador se debe utilizar un dispositivo llamado concentrador de datos, el cual ha sido donado por la empresa WM S.A.S.

Figura 5

Concentrador de datos WMC01c



Nota. Adaptado de Concentrador de datos de WM [Fotografía], por WM SAS, 2019, WM SAS (<https://wmsas.co/web/img/productos/concentrador/2.jpg>).

El concentrador WMC01c cuenta con puerto RS-485, mediante el cual se hace la conexión al medidor YTL DDS 1Y para la transferencia de datos, adicionalmente cuenta con un puerto ethernet para el enlace con el computador. El concentrador requiere una alimentación de 5V, para esto se hace necesario utilizar una fuente de la marca Mean Well, que para fines de realizar el montaje de prueba de funcionamiento ha sido proporcionada en calidad de préstamo por WM S.A.S; esta fuente es un convertidor AC/DC que cuenta con excelente calidad de la señal en DC entregada al dispositivo a alimentar, a continuación, se muestra una imagen de la fuente en cuestión:

Figura 6

Fuente DC 5V Mean Well



Nota. Elaboración propia, fotografía tomada del montaje realizado como prueba del funcionamiento del banco de medidores

Además, se utilizan dos softwares de uso libre, los cuales permiten ejecutar el código Modbus RTU, estos son 1. PuTTY: Se encarga de establecer la conexión del concentrador a través de una dirección IP vía Ethernet y 2. WinSCP: Es un código abierto que permite la transferencia de archivos entre el sistema local y el concentrador de datos, esto provee la posibilidad de convertir los datos medidos por el YTL DDS 1Y a un archivo .csv, en este se encuentran las medidas tomadas a razón de un minuto, esto quiere decir que por cada minuto que pasa el medidor entrega una fila con todos los datos medidos de la carga, estos programas se ejecutan desde el computador, mientras que el código correspondiente al protocolo Modbus RTU está almacenado internamente en las tarjetas que conforman el concentrador de datos. La programación correspondiente al desarrollo de este protocolo de comunicación que se adapta al medidor ha sido desarrollado y almacenado previamente por la empresa que ha donado el dispositivo, sin embargo este programa fue modificado previo a la entrega del mismo ya que presentaba una configuración que permitía entregar datos cada quince minutos, sin embargo para el desarrollo del presente trabajo se requiere que el medidor entregue datos a la menor

frecuencia posible, siendo un minuto la menor frecuencia a la que se puede configurar estos dispositivos.

7.5. Selección de cargas

Se deben definir una serie de cargas que deben considerarse en el diseño del banco de medidores, se destinará un espacio para la conexión de cargas por parte de los usuarios, estas cargas que se conectarán al banco serán las que se van a medir usando el medidor YTL DDS 1Y y el analizador de redes PQube 3, se considera para el diseño que en esta sección se debe brindar al usuario la posibilidad de flexibilidad en las cargas que presente el banco de medida, es por esto que se opta por destinar espacios para conexión de distintos tipos de cargas que considere el usuario que se hace necesario caracterizarlas utilizando el banco de medida. Por lo anterior se seleccionan las siguientes cargas a instalar en el banco de medidores:

- **Plafones tipo rosca E-27:** Las cargas tipo luminarias son muy comunes en todo tipo de lugares y contextos, es por esto por lo que se ha optado por ubicar tres plafones destinados a la conexión de luminarias de diferentes tipos, ya sea incandescente, LED o CFL, dependiendo del tipo de luminaria que se conecte afectará al sistema de una manera diferente, es por esto por lo que se hace esencial su estudio.
- **Tomacorriente doble monofásico:** Con el fin de brindar la flexibilidad de la que se hablaba anteriormente se opta por destinar espacios de conexión como lo son dos tomacorrientes dobles, en estos los usuarios podrán conectar cualquier tipo de carga que cuente con las terminales adecuadas para realizar esta conexión, permitiendo al usuario caracterizar diferentes tipos de carga de uso doméstico.
- **Bornera monofásica tipo jack banana:** Para posibilitar al usuario la sencilla conexión de cualquier otro tipo de carga que se requiera caracterizar con el banco de medidores, se dispone de una bornera para la conexión con jack banana, en esta se podrán conectar cargas como motores monofásicos presentes en el laboratorio.

7.6. Plano eléctrico del banco de medidores

Parte esencial del desarrollo del banco de medidores eléctricos del cual es objeto este trabajo consta del diseño de un plano eléctrico en el que se evidencie la disposición de las conexiones eléctricas de los diferentes elementos.

Este plano contiene la información concerniente a la conexión entre elementos de medida, como lo son el medidor comercial YTL DDS 1Y, el analizador de redes PQube 3 y elementos de comunicación y tratamiento de los datos, como lo son el concentrador WMC01c con su fuente Mean Well y el computador que cuenta con la interfaz de análisis de datos, adicionalmente se dispone de elementos de protección y control, como interruptores de las cargas y breakers de protección. El anterior plano mencionado se encuentra en el [\(Ver APÉNDICE C\)](#).

7.7. Plano físico del banco de medidores

Para proporcionar un alcance completo a este trabajo de grado, es esencial diseñar los planos físicos en 2D y 3D del banco de medidores. El diseño de este banco de medidores está enfocado para ser utilizado por los estudiantes y profesores de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la universidad, facilitando prácticas e interacción de lo teórico a lo práctico [\(Ver APÉNDICE D\)](#).

8. Análisis de potencia no activa comparando el analizador de redes PQube3 y el medidor comercial YTL DDS 1Y

Se hace necesario realizar un análisis en términos de potencia no activa entre los dos medidores utilizados, el medidor comercial YTL DDS 1Y y el analizador de redes PQube3, que funciona como equipo de referencia de medida, la razón que motiva a realizar dicha comparación corresponde a la diferencia presente en la precisión de la medición entre estos dos elementos. El PQube3 al ser un analizador de redes de alta calidad cuenta con una precisión de clase 0.2s para la medición de potencia y energía reactiva, por otro lado, el medidor YTL DDS 1Y cuenta con precisión clase 2.0, esto genera la incertidumbre sobre las medidas que puedan entregar dichos medidores comerciales.

Por lo anteriormente expuesto ahora se llevan a cabo pruebas de laboratorio utilizando los dos medidores para calcular la potencia no activa consumida en tres

escenarios de carga diferentes, una vez se extraigan los datos de los medidores se utilizará la interfaz gráfica de usuario desarrollada para determinar los errores porcentuales en la medida de los parámetros de energía y potencia reactivas en los datos proporcionados por el YTL DDS 1Y en comparación al PQube3.

Los 3 escenarios de carga son los siguientes:

Escenario de carga 1:

- Luminaria LED
- Luminaria CFL
- Luminaria incandescente
- 2 ventiladores a velocidad mínima (Nivel 1)

Escenario de carga 2:

- Luminaria LED
- Luminaria CFL
- Luminaria incandescente
- 2 ventiladores a velocidad mínima (Nivel 1)
- Cafetera

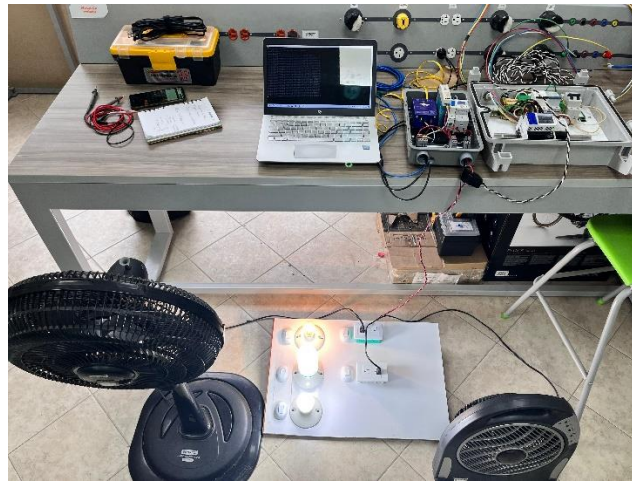
Escenario de carga 3:

- Luminaria LED
- Luminaria CFL
- Luminaria incandescente
- 2 ventiladores a velocidad máxima (Nivel 3)

A continuación, se muestra el montaje realizado para la toma de datos en el laboratorio de energías renovables de la universidad:

Figura 7

Montaje de prueba de toma de medidas en laboratorio



Nota. Elaboración propia, montaje de prueba de funcionamiento de conexión de medidor YTL DDS 1Y y PQube3

Para la primera prueba utilizando la configuración mostrada como *Escenario de carga 1*, se obtienen los siguientes resultados extraídos de la pestaña de comparación de la interfaz de usuario:

Figura 8

Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 1

Carga | Información PQube3 | Información PQube3 | Cargar datos PQube3 | Tablas (V e I) PQube3 | Tablas (P) PQube3 | Gráficas DDS-1Y | Información DDS-1Y | Cargar datos DDS-1Y | Tabla Medidor | Información Comparación

Comparación de medidores usando como referencia al PQube3

Volver
Generar datos
Generar reporte

PQube3 vs DDS-1Y

	V (RMS)	I (RMS)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	QF (VAR)	FP	f (Hz)
PQube3	127.8444	1.7339	218.1046	39.6302	221.6759	39.6302	0.9839	60.0458
DDS-1Y	127.6000	1.7300	210.0000	10.0000	220.7480	68.0417	0.9800	60.0200
Error (%)	0.1912	0.2278	3.7159	74.7667	0.4186	71.6918	0.3954	0.0430


PQube3 vs Medidor

De estos resultados se logra evidenciar que el medidor YTL DDS 1Y es una gran herramienta para la medición de parámetros eléctricos como tensión, corriente, potencia aparente, factor de potencia y frecuencia, ya que se presentan errores porcentuales menores incluso al 1% en la mayoría de los casos con respecto al analizador de redes PQube3 como elemento de referencia, lo cual se puede considerar como una medida aceptable y confiable. Por otra parte, en términos de potencia activa presenta un porcentaje de error superior al 3,7%, adicionalmente para la potencia reactiva se presenta un error superior al 74% lo cual indica que el medidor YTL DDS 1Y no se encuentra realizando una correcta medición de este parámetro de potencia.

Para el segundo caso de estudio correspondiente al *Escenario de carga 2*, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 9

Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 2



Comparación de medidores usando como referencia al PQube3

PQube3 vs DDS-1Y

	V (RMS)	I (RMS)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	QF (VARD)	FP	f (Hz)
PQube3	127.1119	9.6529	1.2260e+03	49.0711	1.2270e+03	49.0711	0.9992	60.0297
DDS-1Y	126.7000	9.5700	1210	0	1.2125e+03	78.1174	1	59.9500
Error (%)	0.3241	0.8591	1.3067	100	1.1803	59.1924	0.0801	0.1327

PQube3 vs Medidor

En este caso se presenta una situación similar a la del *Escenario de carga 1*, evidenciándose así una medida aceptable para los parámetros de tensión, corriente, potencia activa, potencia aparente, factor de potencia y frecuencia. Sin embargo, para el parámetro de potencia reactiva se presenta en este caso una medida de 0 [VAR], lo que genera que el porcentaje de error ascienda hasta el 100%; este problema se presenta

frecuentemente con el modelo de medidor YTL DDS 1Y, lo cual consolida la idea de que este tipo de medidores no son adecuados para la medición de potencia reactiva.

Ahora se procede a analizar el caso *Escenario de carga 3*, para el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 10

Pantalla de comparación de la interfaz Escenario 3

	V (RMS)	I (RMS)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	QF (VARD)	FP	f (Hz)
PQube3	127.7947	1.8374	232.0991	35.5823	234.8107	35.5823	0.9885	60.0071
DDS-1Y	128.1000	1.9100	240.0000	20.0000	244.6710	47.5804	0.9800	60.0200
Error (%)	0.2389	3.9509	3.4041	43.7923	4.1992	33.7193	0.8550	0.0216

En esta ocasión se presenta una buena medida en tensión, factor de potencia y frecuencia, sin embargo se presenta una elevación en el error de la medida de corriente, que en los dos casos anteriores había sido satisfactoria, ahora alcanza un error cercano al 4%, también en términos de potencia activa se sigue presentando un error de valor bajo, no obstante, observando este y los casos anteriores se puede evidenciar una situación constante presente en la medida de este parámetro y es que el medidor YTL DDS 1Y está midiendo en decenas de Watt, perdiendo así bastante precisión al momento de realizar estas medidas. En el caso de la potencia reactiva llega hasta la medida de 20 [VAR] y no asciende ni siquiera hasta un valor cercano al medido por el PQube3, generando así un error porcentual superior al 43%.

En general se presenta en los tres escenarios una medida errada para el parámetro de potencia reactiva, con errores siempre superiores al 40%, lo cual indica que el medidor YTL DDS 1Y no es un elemento apto para la medición de dicha magnitud eléctrica.

Realizando un análisis de los resultados obtenidos en los tres casos se puede evidenciar que la medida de la potencia aparente siempre se mantuvo con un error bajo en comparación al parámetro de potencia reactiva, estos dos parámetros al estar directamente relacionados no deberían discernir de esta manera, lo que puede llevar a pensar en que el medidor YTL DDS 1Y realiza el cálculo de potencia reactiva utilizando un modelo diferente al utilizado por el PQube 3, el cual es el modelo de Fryze.

En base a todo lo que se ha analizado en este capítulo y a las pruebas de laboratorio realizadas se puede determinar que el YTL DDS 1Y es un medidor que no está en la capacidad de medir correctamente el parámetro de potencia reactiva.

9. Competencias fortalecidas y desarrolladas por estudiantes a partir de la interacción con un banco de medida

Como bien se sabe, el proceso de aprendizaje en una carrera profesional como lo es la ingeniería eléctrica no solo puede depender del entorno teórico, es importante la interacción con el componente práctico, el cómo y por qué funcionan los dispositivos utilizados a lo largo del desarrollo formativo de los estudiantes. En este caso, el cómo se obtienen y cómo se procesan las muestras antes de ser leídas a través de una pantalla, es por eso que este trabajo de investigación busca crear un espacio en las asignaturas de mediciones eléctricas y mediciones eléctricas avanzadas para el acercamiento de los estudiantes al laboratorio de energía renovables de la universidad, posibilitando así realizar prácticas y pruebas, con el fin de evidenciar el tratamiento de datos y el uso del analizador de redes PQube3, que es el medidor de referencia de este trabajo.

No obstante, la efectividad de este banco de medida dependerá en gran medida del interés y la disposición del estudiante para aprovechar al máximo esta herramienta una vez esté construida. Por lo tanto, es crucial definir las competencias que pueden ser fortalecidas y desarrolladas a través de la interacción con este banco de medición. Estas competencias incluyen:

- **Habilidad en el manejo de instrumentos de medición:** Los estudiantes aprenderán a utilizar medidores comerciales como el analizador de redes PQube3 y YTL DDS 1Y comprendiendo su funcionamiento y aplicación en diferentes escenarios.

- **Interpretación de datos:** A través de la práctica, los estudiantes desarrollarán la capacidad de interpretar datos de parámetros eléctricos, identificar patrones entre cada tipo o grupo de cargas, y realizar análisis críticos sobre los resultados obtenidos al momento de realizar pruebas de laboratorio.
- **Aplicación de teoría a la práctica:** Los estudiantes podrán aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en clase a situaciones prácticas, consolidando su entendimiento y habilidades.

En resumen, este trabajo de grado no solo busca dotar a los estudiantes de conocimientos técnicos, sino también de competencias prácticas y habilidades blandas necesarias para su desarrollo profesional en el campo de la ingeniería eléctrica.

10. Conclusiones

Al momento en que sea construido el banco de medidores se podrá fortalecer las competencias referentes a las asignaturas del área de mediciones eléctricas, ya que los estudiantes podrán tener un acercamiento al entorno práctico y de esta manera afianzar los conceptos básicos aprendidos en el aula de clase, para así comprender con mayor facilidad el área de conocimiento en cuestión. Esto provocará un cambio positivo en el interés de los estudiantes hacia la asignatura y la carrera.

Se logró realizar el diseño del banco de medida enfocado a la prueba y comparación de medidores comerciales utilizando como elemento de referencia el analizador de redes PQube3.

Se logró evidenciar un gran margen de error en la precisión de la medición de potencia reactiva del medidor comercial YTL DDS 1Y en comparación al analizador de

redes PQube3, determinando así que este tipo de medidores comerciales de baja gama no cuentan con la capacidad suficiente para la medición de dicho parámetro eléctrico.

Queda a total disposición el diseño del banco de medidores para toda la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones para su construcción, añadir otros medidores a dicho banco y/o mejoramiento de este.

11. Recomendaciones

Luego de realizar a satisfacción el diseño del banco de medidores propuesto para el presente trabajo de investigación se realizan las siguientes recomendaciones orientadas a estudiantes que en un próximo trabajo de investigación decidan continuar con la elaboración de este banco de medidores:

- Adaptar la interfaz gráfica de usuario y el concentrador de datos para posibilitar la lectura de datos a medidores que cuenten con diferente protocolo de comunicación al Modbus RTU.
- Automatizar el proceso de conexión Concentrador de datos / PC ya que actualmente se deben ejecutar dos programas como lo es PuTTY y WinSCP para lograr la extracción de datos y generar el documento .csv para introducir en la interfaz.
- En vista de que existen un gran número de puertos de comunicación en medidores comerciales se deberá ampliar la capacidad del concentrador de datos para posibilitar la conexión con puertos diferentes al RS 485 utilizado en el presente trabajo de investigación.

12. Referencias

- A1052-D - producto - MYEEL. (n. d.). <https://myeel.com.ar/producto/A1052-d>
- Carla. (2020). *Sellado de puertos ópticos*. Cloud Global. <https://clouglobal.com/es/sellado-de-puertos-opticos/>
- COPA-DATA. (n.d.). *DNP3: Protocolo de red distribuida*. <https://www.copadata.com/es/industrias/energia-infraestructura/energy-insights/dnp3-protocolo-de-red-distribuida/#:~:text=El%20DNP3%20fue%20dise%C3%B1ado%20para,la%20industria%20de%20servicios%20el%C3%A9ctricos.>
- Elster A100C Single Phase MID Electricity Generation Meter (UK504-035) - Camax UK Ltd.* (n. d.). <https://www.camax.co.uk/product/elster-a100c-electricity-generation-meter>
- Elster A1100 MID certified Class 2 Three Phase Electronic Polyphase Meter.* (n. d.). Rayleigh Instruments. <https://www.rayleigh.com/elster-a1100-mid-certified-class-2-three-phase-electronic-polyphase-meter.html>
- Euronics. (n.d.). *¿Qué es un puerto Ethernet?*. <https://www.euronics.es/blog/ethernet/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20puerto%20Ethernet%3F,la%20misma%20l%C3%ADnea%20de%20transmisi%C3%B3n.>
- Fuentes Casadiego, S. A. (2019). *Implementación de un sistema de medición de energía eléctrica por medio de la integración de un equipo de medida, una plataforma de desarrollo de bajo costo y una interfaz de visualización*. (1.ª ed.), 1-63. Bucaramanga. Recuperado de <https://noesis.uis.edu.co/home>
- IEEE. (2010). *IEEE Std 1459-2010: Definiciones estándar IEEE para la medición de cantidades de energía eléctrica en condiciones sinusoidales, no sinusoidales, equilibradas o desequilibradas*. IEEE Std 1459-2010 (Revisión de IEEE Std 1459-2000), 1-50. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5439063>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor bidireccional contador trifásico ISKRA MT-174 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales*. Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-bidireccional-contador-trifasico-iskra/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor bidireccional monofásico Microstar C2000 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales*. Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía

- Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-bidireccional-monofasico-c2000/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor bifasico Activa Reactiva Max Meter - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-bifasico-activa-reactiva/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor monofasico Genesis I AF EMM12 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-monofasico-genesis-i-af-emm12/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor monofasico Hiking DDS238 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-monofasico-hiking-dds238/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor monofásico LCD Activa Reactiva - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-monofasico-activa-reactiva/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor trifásico 480V 160A P2000D Microstar - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-trifasico-480v-160a-p2000-microstar/>
- INELDEC SAS. (2023). *Medidor trifasico Activa reactiva Max Meter - Paneles solares Colombia Lamparas solares ingeniería eléctrica energía solar baterías solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-trifasico-activa-reactiva/>
- INELDEC SAS. (2024). *Medidor bidireccional bifásico Microstar D2000 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales.* Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía

- Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-bidireccional-bifasico-microstar-d2000/>
- INELDEC SAS. (2024). *Medidor bidireccional ISKRA MT174-T1 Semidirecta - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales*. Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-bidireccional-iskra-mt174-t1-semidirecta/>
- INELDEC SAS. (2024). *Medidor trifásico Genesis IV ETM34 Semidirecta - Paneles solares Colombia Lamparas solares Ingeniería eléctrica energía solar baterías solares Cucuta Materiales*. Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-trifasico-genesis-iv-etm34-medida-semidirecta/>
- INELDEC SAS. (2024). *Medidor trifásico Semidirecta P2000-T Microstar - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales*. Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales. <https://ineldec.com/producto/medidor-trifasico-semidirecta-p2000-t-microstar/>
- Ineldec. (2022). *Ficha Técnica Medidor Bifásico Genesis ETM34*. Recuperado de <https://ineldec.com/wp-content/uploads/2022/06/Ficha-Tecnica-Medidor-Bifasico-Genesis-ETM34.pdf>
- Intereléctricas. (n.d.). *Contador Elster A1800 1/10A indirecto con puerto*. <https://interelectricas.com.co/medidores-de-energia/1564-contador-elster-a1800-1-10a-indirecto-con-puerto.html>
- Jimenez Guamán, P. F., & Cabrera Mejía, J. B. (2020). *Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube*, 1-17. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7659382>
- MathWorks. (n.d.). *Support. MATLAB documentation*. <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
- Medidor Bidireccional ELSTER A1800 | al Mejor Precio*. (n.d.). <https://autosolar.co/accesorios/medidor-bidireccional-elster-a1800>
- Medidor Bidireccional ELSTER A1800 | al Mejor Precio*. (n.d.). <https://autosolar.co/accesorios/medidor-bidireccional-elster-a1800>
- Medidor de energía iT30 Inhemeter - Proelco*. (2023). Proelco | Líderes En Productos Eléctricos Industriales. <https://proelco.com.co/producto/medidor-de-energia-it30-inhemeter/>

- Medidor de energía monofásico DDS5558-YG con fábrica y fabricante RS485 - Proveedor de China-Golemong.* (n.d.). Medidor Co., Ltd. De Zhejiang GomeLong. <https://es.gomelongmeter.com/dds5558-yg-single-phase-energy-meter-with-rs485.html>
- Modbus Organization. (n.d.). Modbus. <https://modbus.org/>
- Muñoz-Galeano, N., López-Lezama, J. M., & Rivas-Trujillo, E. (2019). *Análisis detallado del Standard IEEE 1459-2010 para sistemas eléctricos monofásicos lineales y no lineales.* Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad, (2), 327-332. Recuperado de <https://doi.org/10.14483/2322939X.16661>
- Rodríguez, C. F., Calvache, B. A., & Caicedo, E. F. (2016). *Una propuesta de modelos de datos y protocolos de intercambio de información estandarizados aplicables a sistemas de medida centralizada.* Revista Internacional de Unidades de Medida, 16(30), 149-160. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n30/1692-3324-rium-16-30-00149.pdf>
- Scribd. (n.d.). *Manual Scorpion ELSTER.* <https://es.scribd.com/document/338687797/Manual-Scorpion-ELSTER>
- Solartex Colombia. (2023). *Medidor bidireccional Monofasico Elster A150 - Solartex Chile.* Solartex Chile. <https://www.solartex.cl/tienda/producto/medidor-bidireccional-monofasico-elster-a150/>
- Solartex Colombia. (2023). *Medidor bidireccional Trifasico Elster AS1440 - Solartex Chile.* Solartex Chile. <https://www.solartex.cl/tienda/producto/medidor-bidireccional-trifasico-elster-as1440/>
- Vicent Ferrer. (n.d.). *LoRa y LoRaWAN: Qué es y cómo funciona.* <https://vicentferrer.com/lora-lorawan/#:~:text=C%C3%B3mo%20funciona%20la%20tecnolog%C3%ADa%20LoRa,de%20pendiendo%20del%20caso%20de%20uso.>
- Weis, O. (2020). *RS232 vs RS485: Diferencias entre puertos serie.* Virtual Serial Port. <https://www.virtual-serial-port.org/es/article/what-is-serial-port/rs232-vs-rs485.html>
- XM. (2024). *Demanda de Energía del SIN y PIB.* <https://sinergox.xm.com.co/dmnd/Paginas/Informes/DemandaEnergiaSIN-PIB.aspx>
- YTL (n.d.). *Productos.* YTL. <https://es.ytl-e.com/product/energy-meter/single-phase-two-wire-measuring-communication.html>.

Apéndices

APÉNDICE A: Parámetros eléctricos de medición

Para condiciones de estado estable, una tensión o corriente instantánea periódica no sinusoidal tiene dos componentes de frecuencia del sistema de potencia v_1 e i_1 y el término restante v_H e i_H , respectivamente.

$$v = v_1 + v_H \quad (3)$$

$$i = i_1 + i_H \quad (4)$$

Donde

$$v_1 = \sqrt{2V_1} \sin(\omega t - \alpha_1) \quad (5)$$

$$i_1 = \sqrt{2I_1} \sin(\omega t - \beta_1) \quad (6)$$

$$v_H = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} V_h \sin(h\omega t - \alpha_h) \quad (7)$$

$$i_H = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} I_h \sin(h\omega t - \beta_h) \quad (8)$$

Potencia instantánea

La potencia instantánea p está dada por:

$$p = vi \quad (9)$$

$$p = p_a + p_q \quad (10)$$

Donde:

$$p_a = VI \cos \theta [1 - \cos(2\omega t)] = P[1 - \cos(2\omega t)] \quad (11)$$

$$P = VI \cos(\theta) \quad (12)$$

$$p_q = -VI \sin \theta \sin(2\omega t) = -Q \sin(2\omega t) \quad (13)$$

$$Q = VI \sin(\theta) \quad (14)$$

La componente p_a corresponde a la potencia activa instantánea, la cual es producida por el componente activo de la corriente, el que está en fase con la tensión.

La componente p_q es la potencia reactiva instantánea, es producida por el componente reactivo de la corriente, el cual está en cuadratura con la tensión. La potencia reactiva instantánea p_q es la velocidad de flujo de energía.

Potencia activa

La potencia activa P o también llamada potencia real, es el valor de la potencia instantánea durante el intervalo de tiempo de medición τ a $\tau + kT$

$$P = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} p dt = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} p_a dt \quad (15)$$

Donde

$T = 1/f$ es el tiempo del ciclo (s)
 k es un número natural
 τ el momento donde inicia la medición

$$P = VI \cos \theta \quad (16)$$

Potencia activa armónica (potencia activa no fundamental)

$$P_H = V_O I_0 + \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h = P - P_1 \quad (17)$$

Potencia reactiva

La magnitud de la potencia reactiva Q es igual a la amplitud de la potencia reactiva instantánea p_q

$$Q = VI \sin \theta \quad (18)$$

$$Q = \frac{1}{2\pi} \oint v di = -\frac{1}{2\pi} \oint i dv = \frac{1}{kT\omega} \int_{\tau}^{\tau+kT} v \frac{di}{dt} dt = -\frac{1}{kT\omega} \int_{\tau}^{\tau+kT} i \frac{dv}{dt} dt = -\frac{\omega}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} v \left[\int idt \right] dt \quad (19)$$

$$Q = \frac{\omega}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} i \left[\int v dt \right] dt \quad (20)$$

Si la carga es inductiva, entonces $Q > 0$. Si la carga es capacitiva, entonces $Q < 0$. Esto significa que cuando la corriente retrasa la señal de la tensión entonces $\theta > 0$. y viceversa.

Potencia reactiva fundamental (VAR)

$$Q_1 = \frac{\omega}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} i_1 \left[\int v_1 dt \right] dt \quad (21)$$

$$= V_1 I_1 \sin \theta_1 \quad (22)$$

Potencia aparente (VA)

Se define como el producto del voltaje medio cuadrático (rms) y la corriente rms.

$$S = VI \quad (23)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (24)$$

La potencia aparente en una carga monofásica se puede interpretar como la potencia activa máxima que se puede conducir por la misma línea manteniendo la tensión RMS constante en la carga y la pérdida de potencia de la línea de suministro constante. Este concepto implica que se puede conectar una carga adicional con factor de potencia unitario en paralelo con la carga original compensada mediante una capacitancia en derivación o un compensador activo.

Potencia aparente fundamental (VA)

$$S_1 = V_1 I_1 \quad (25)$$

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (26)$$

Potencia aparente no fundamental (VA)

$$\begin{aligned} S^2 &= (VI)^2 = (V_1^2 + V_H^2)(I_1^2 + I_H^2) = (V_1 I_1)^2 + (V_1 I_H)^2 + (V_H I_1)^2 + (V_H I_H)^2 = \\ &= S_1^2 + S_N^2 \end{aligned} \quad (27)$$

$$S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (28)$$

S_N es la potencia aparente no fundamental y se resuelve en los siguientes tres términos:

$$S_N^2 = D_1^2 + D_V^2 + S_H^2 \quad (29)$$

Potencia de corriente de distorsión (VAr)

$$D_I = V_1 I_H = S_1 (THD_I) \quad (30)$$

Potencia de tensión de distorsión (VAr)

$$D_V = V_H I_1 = S_1 (THD_V) \quad (31)$$

Potencia armónica aparente (VA)

$$S_H = V_H I_H = S_1 (THD_I)(THD_V) \quad (32)$$

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + D_H^2} \quad (33)$$

Potencia de distorsión armónica (var)

$$D_H = \sqrt{S_H^2 + P_H^2} \quad (34)$$

$$S_N \approx S_1 \sqrt{(THD_I)^2 + (THD_V)^2} \quad (35)$$

Factor de potencia

El factor de potencia se puede interpretar como la relación entre la potencia activa (potencia real), que es la parte de la potencia eléctrica que se convierte en trabajo útil, y la potencia aparente, que es la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva.

$$Fp = \frac{P}{S} \quad (36)$$

Factor de potencia fundamental

$$PF_1 = \cos\theta_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (37)$$

Potencia compleja (VA)

$$S = P + jQ = VI^* \quad (38)$$

Distorsión armónica individual (IHD)

La distorsión armónica individual se define como el nivel de distorsión, en porcentaje, de orden h, con respecto a la fundamental. Este componente es usado para describir la distorsión de cada armónico de manera individual y se expresa de la siguiente manera:

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} \times 100\% \quad (39)$$

Distorsión armónica total (THD)

La desviación general de una onda distorsionada respecto de su fundamental se puede estimar con la ayuda de la distorsión armónica total. La distorsión armónica total de la tensión se expresa como:

$$THD_V = \frac{V_H}{V_1} = \sqrt{\left(\frac{V}{V_1}\right)^2 - 1} \quad (40)$$

La distorsión armónica total de la corriente se expresa como:

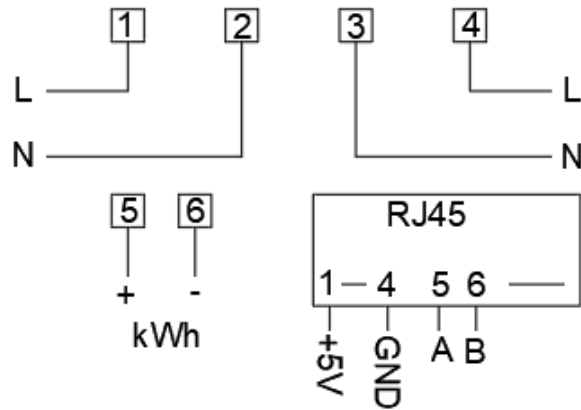
$$THD_I = \frac{I_H}{I_1} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (41)$$

APÉNDICE B: Modelos de medidores con sus respectivos esquemas de conexión

- **Microstar C2000**

Figura 11

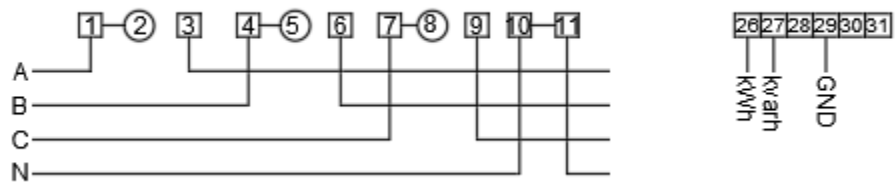
Esquema de conexión Microstar C2000



Microstar P2000-D

Figura 12

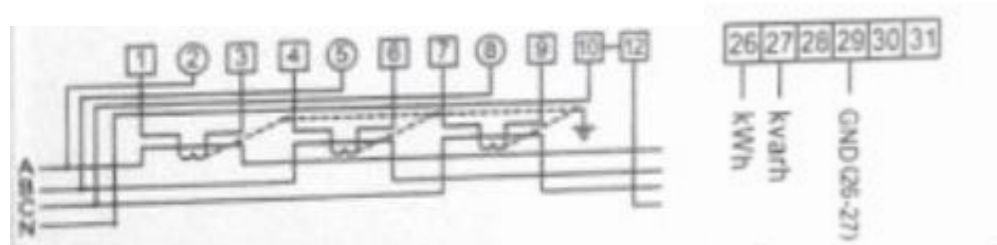
Esquema de conexión Microstar P2000-D



Microstar P2000-T

Figura 13

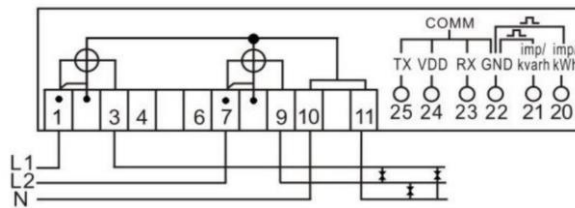
Esquema de conexión Microstar P2000-T



Genesis II EBM 23

Figura 14

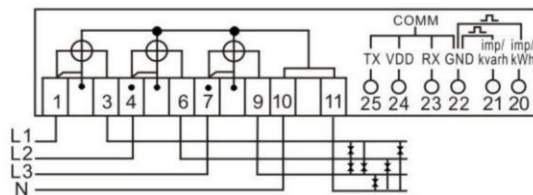
Esquema de conexión Genesis II EBM 23



Genesis III ETM 34

Figura 15

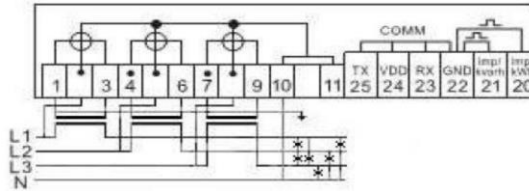
Esquema de conexión Genesis III ETM 34



Genesis IV ETM 34-I

Figura 16

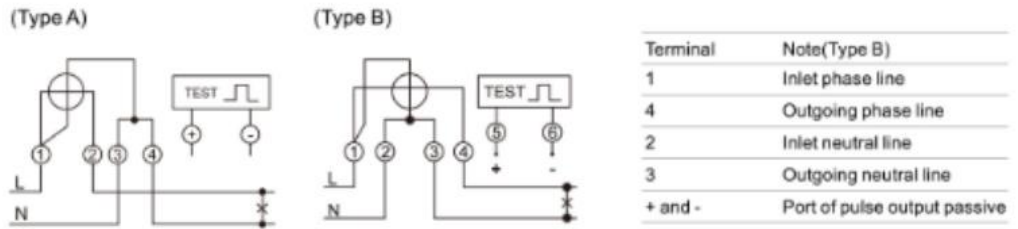
Esquema de conexión Genesis IV ETM 34-I



MAXMETER DDS5558

Figura 17

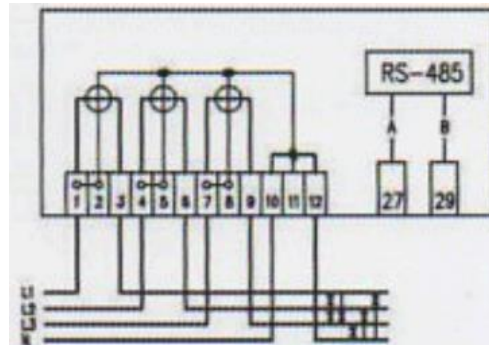
Esquema de conexión Maxmeter DDS5558



ISKRA MT-174-T1

Figura 18

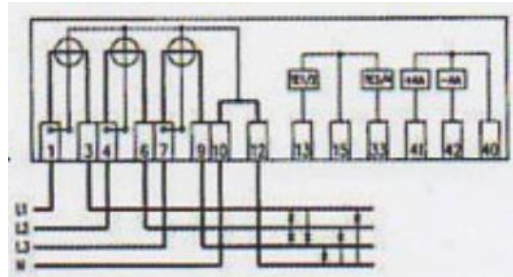
Esquema de conexión Iskra MT-174-T1



ISKRA MT-174-D2

Figura 19

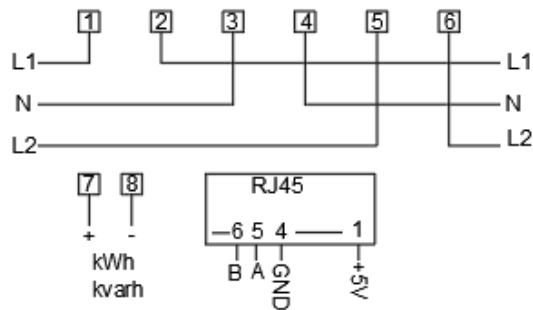
Esquema de conexión Iskra MT-174-D2



Microstar D2000

Figura 20

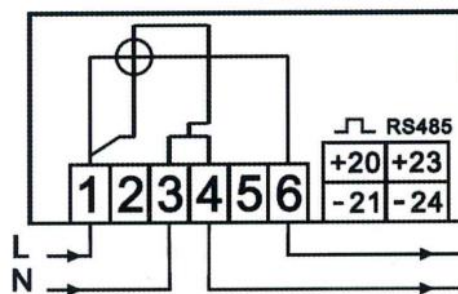
Esquema de conexión Microstar D2000



Genesis 1 AF

Figura 21

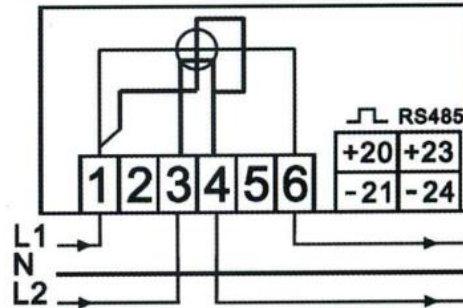
Esquema de conexión Genesis 1 AF



Genesis 1P AF

Figura 22

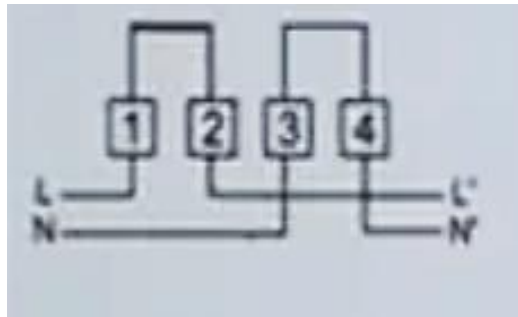
Esquema de conexión Genesis 1P AF



HIKING DDS238

Figura 23

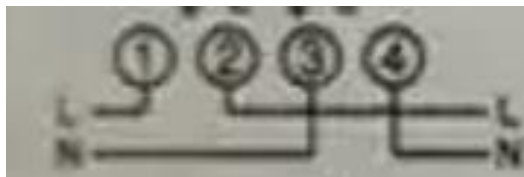
Esquema de conexión Hiking DDS238



Maxmeter DDS 5558

Figura 24

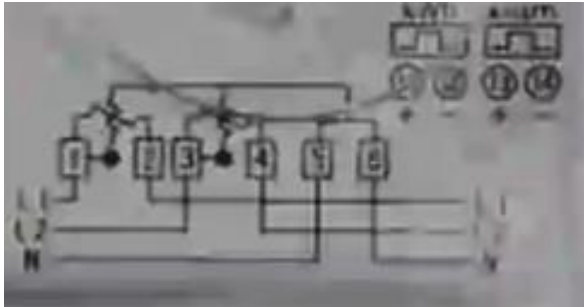
Esquema de conexión Maxmeter DDS 5558



Maxmeter DSS 5558

Figura 25

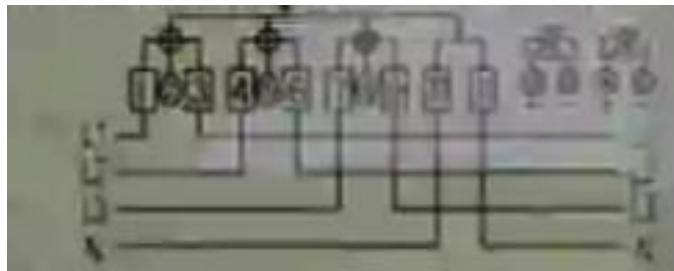
Esquema de conexión Maxmeter DSS 5558



Maxmeter DTS 5558

Figura 26

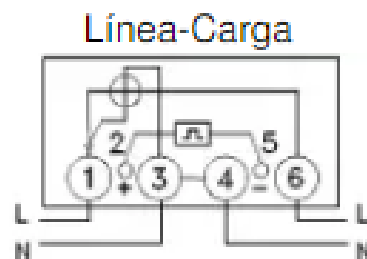
Esquema de conexión Maxmeter DTS 5558



Elster Scorpion

Figura 27

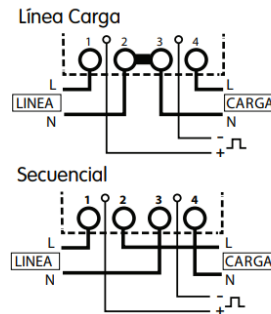
Esquema de conexión Elster Scorpion



Elster A150

Figura 28

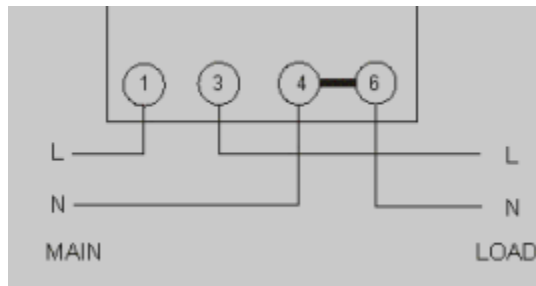
Esquema de conexión Elster A150



Elster A100C

Figura 29

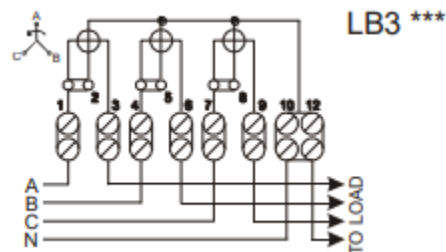
Esquema de conexión Elster A100C



Elster A1100

Figura 30

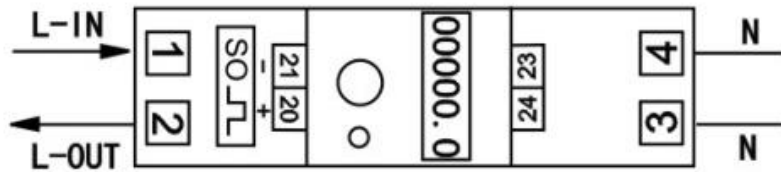
Esquema de conexión Elster A1100



YTL DDS 1Y

Figura 31

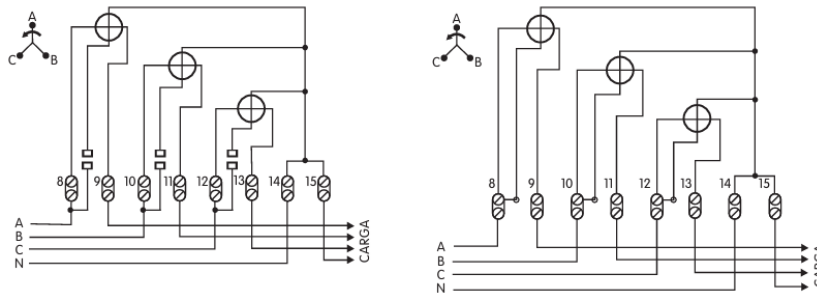
Esquema de conexión YTL DDS 1Y



Elster A 1052

Figura 32

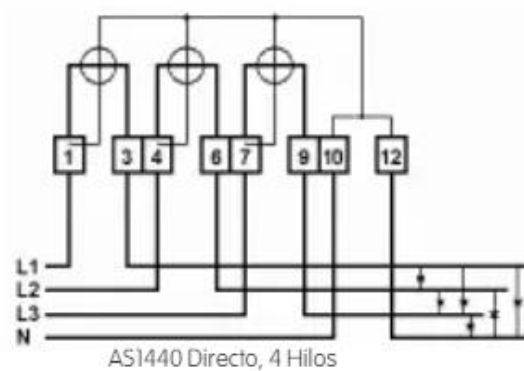
Esquema de conexión Elster A 1052

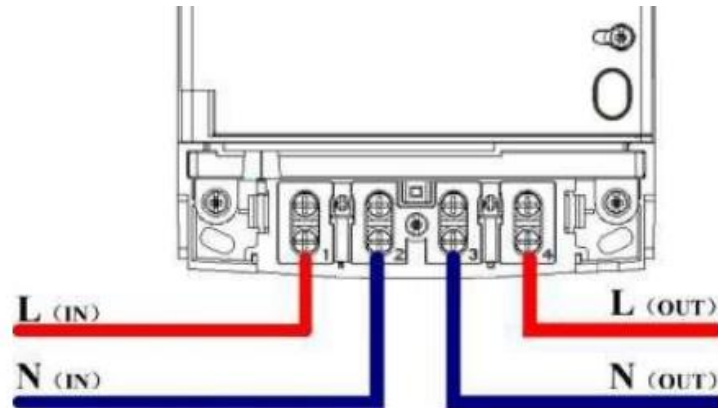


Elster AS 1440

Figura 33

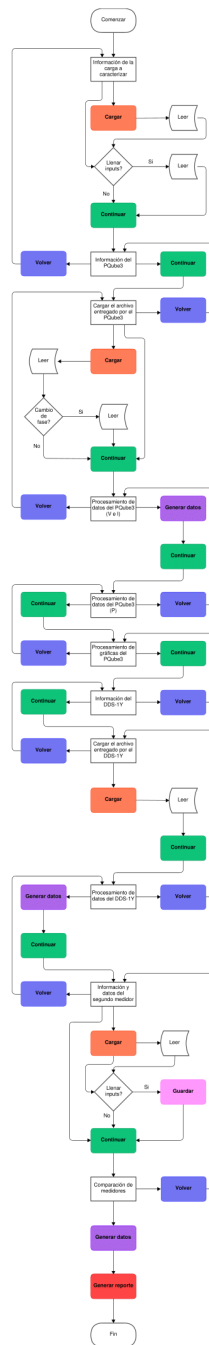
Esquema de conexión Elster AS 1440



Inhemeter IT 30**Figura 34***Esquema de conexión Inhemeter IT 30*

APÉNDICE C: Diagrama de flujo interfaz

Figura 35 Diagrama de flujo acerca de la interfaz

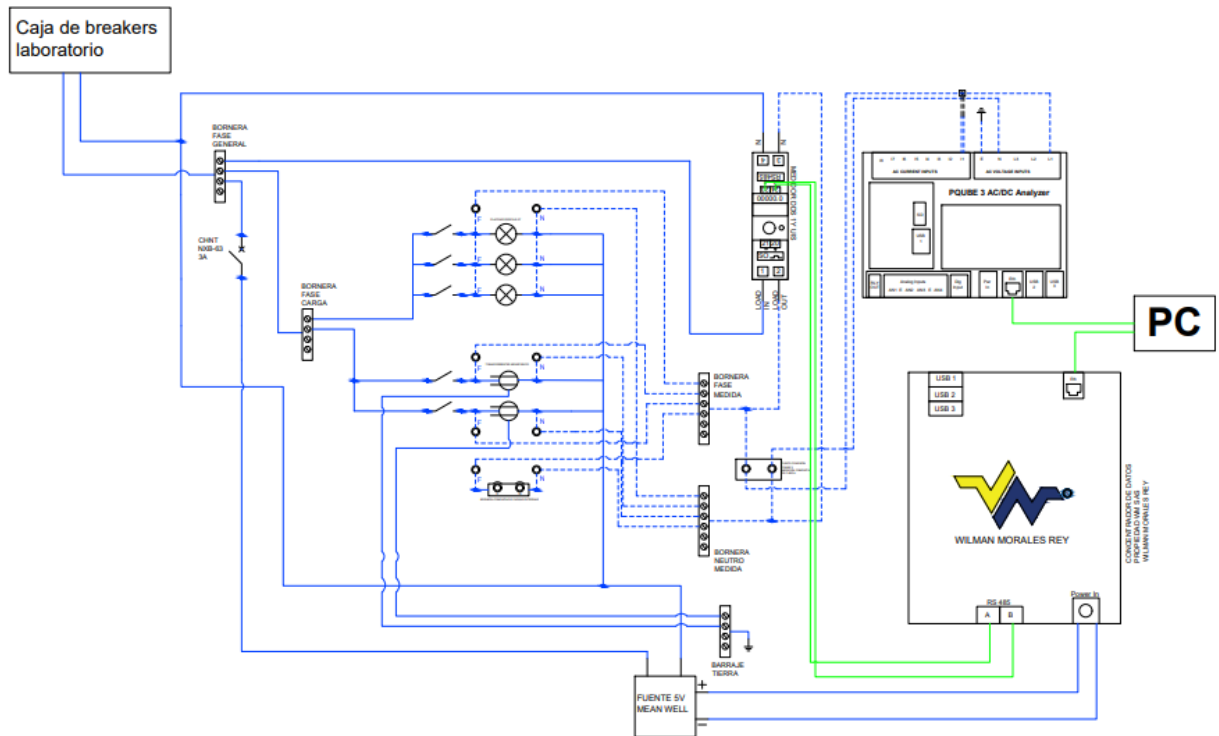


Nota. Para visualizar en mejor calidad y en formato PDF dar clic en el siguiente link

https://drive.google.com/file/d/17XquZ_bmhXugpPectRMX52yM0f7FgWh/view?usp=sharing.

APÉNDICE D: Plano eléctrico del banco de medidores

Figura 36

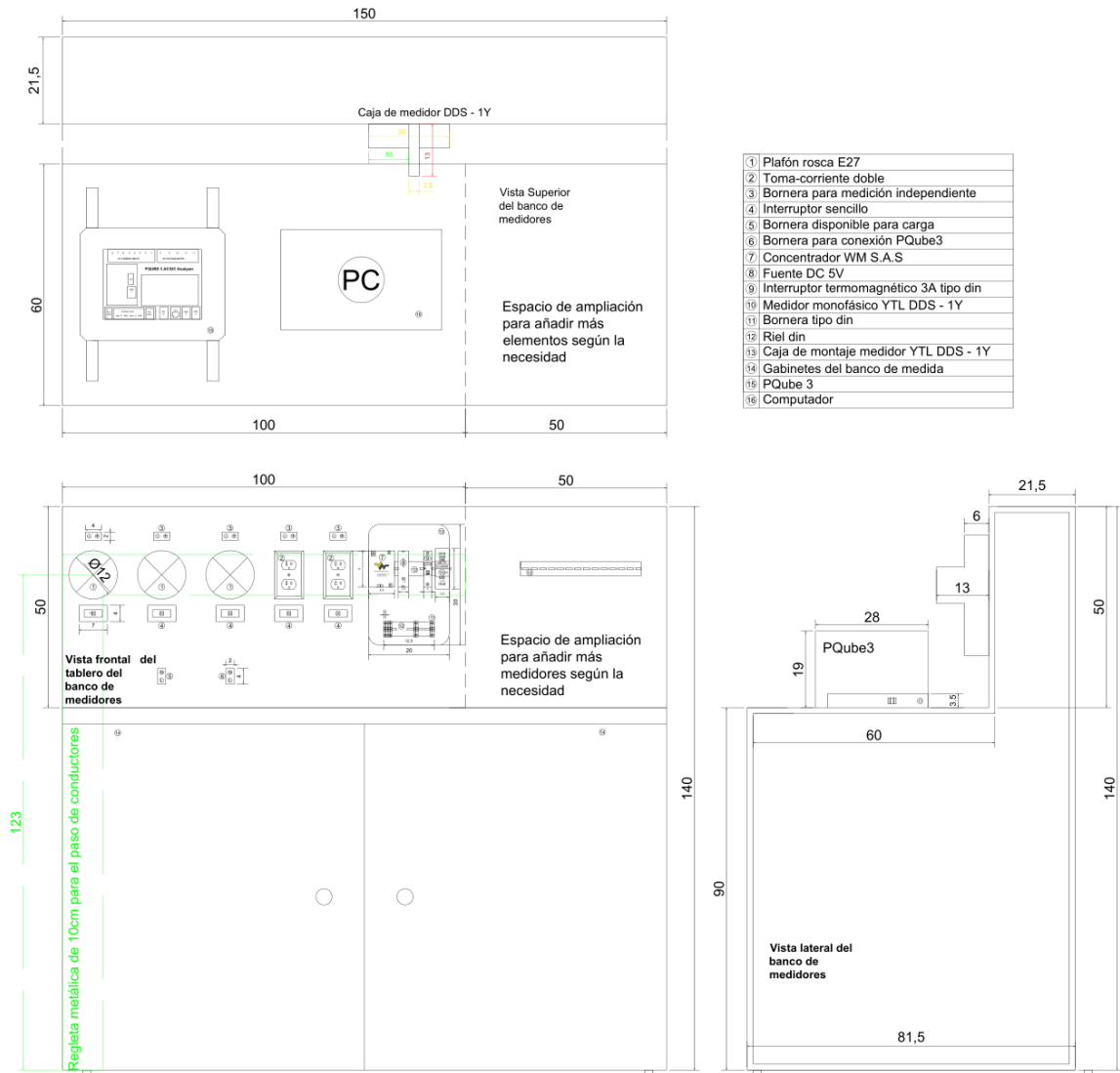
Plano eléctrico del banco de medida

Nota. Para visualizar en mejor calidad y en formato PDF dar clic en el siguiente link (<https://drive.google.com/file/d/1gdCwvSuuFAU7rq9IMduHpcYFJDLQixh/view?usp=sharing>).

APÉNDICE E: Planos físicos del banco de medidores

Figura 37

Plano físico 2D del banco de medida



Nota. Para visualizar en mejor calidad y en formato PDF dar clic en el siguiente link (<https://drive.google.com/file/d/1HJlcb-JRACfPWLGHk4q9IzTZsQF1mYYi/view?usp=sharing>)

Figura 38

Plano físico 3D del banco de medida



Nota. Para visualizar en mejor calidad y en formato PDF dar clic en el siguiente link (https://drive.google.com/file/d/1bjWfUIBRA8ECoD_Q61zc-RgVYxiEMEEB/view?usp=sharing)