

---

## Dispositivo externo asequible capaz de proveer funciones AMI a medidores electrónicos

Sebastián Chaparro<sup>1</sup>, Matias Gagliardone<sup>1</sup>, Pablo Sosa<sup>2</sup>, Victor Díaz<sup>2</sup>, Carlos Sauer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay

<sup>2</sup> Administración Nacional de Electricidad, Asunción, Paraguay

### Paraguay

#### 1. Resumen

La tendencia mundial del sector eléctrico impulsa a las compañías de distribución a implementar sistemas AMI (Infraestructura de Medición Avanzada) para optimizar la administración de sus recursos y mejorar la calidad del servicio ofrecido a clientes. No obstante, un cambio masivo de infraestructura de medición a tecnologías más sofisticadas requiere un esfuerzo económico importante. En Paraguay, la Administración Nacional de Electricidad espera culminar en 2022 la migración de medidores electromecánicos a electrónicos realizada en más de una década, y se estima al menos otra década para una migración completa a medidores inteligentes. En promedio solo adquirir medidores inteligentes monofásicos y trifásicos para una cantidad mayor al millón de clientes representa una inversión en el orden de las centenas de millones de dólares sin considerar gastos en softwares, servidores y equipos de comunicación, además del desperdicio de la infraestructura recientemente instalada. En este trabajo de investigación y desarrollo se propone desarrollar un dispositivo externo bastante más asequible que permita dotar a la infraestructura de medidores electrónicos convencionales instalados de una función AMI: la tele medición, reduciendo notablemente los costos de lectura. El dispositivo recopila datos de los suministros por el puerto RS485 mediante el protocolo IEC 62056-21 transmitiendo hasta un servidor específico mediante un módulo WiFi integrado para conectar a Internet directamente por medio del enrutador inalámbrico instalado en los domicilios, con cable o por LTE 4G; reduciendo el costo del prototipo por la gran disponibilidad de estos equipos. El desarrollo se basa en plataformas open source para reproducirlos en masa y aprovechar al máximo la infraestructura de medidores a través de inteligencia customizada, necesaria y suficiente optimizando la calidad del servicio entregado. El monitoreo regular de los suministros puede aportar valor a la gestión de reclamos y al sistema comercial. Como el prototipo es programable, es posible crear nuevas funciones incorporadas sobre la tele medición y la comunicación bidireccional, como corte y conexión remota por morosidad, envío de alertas en caso de fallas o manipulación, sistemas multi tarifarios, etc proporcionando varios de los beneficios que un sistema AMI tradicional puede lograr, pero a costos bastante menores.

#### 2. Palabras clave

Smart Meter, Wireless AMR, telemedición, Internet of Things, IEC 62056-21, AMI.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El sector eléctrico mundial enfoca objetivos hacia los *Smart Grids*. En Paraguay, la *Administración Nacional de Electricidad (ANDE)*, actualmente ya persigue un horizonte hacia soluciones *AMI* (Infraestructura de Medición Avanzada) para optimizar su *sistema de distribución* estimando lograrlo en 10 años mínimo. Hoy día, un 98% de los medidores son *electrónicos* y solo el 2% son *medidores inductivos* que vienen siendo reemplazados hace una década y que se espera culminar el 2022 con el 100% de medición electrónica [1]. Esto ya ha conllevado una inversión importante tiempo atrás para el actual servicio, y que siguen instalándose con un ciclo de vida de más de 10 años. Adquirir *medidores inteligentes* llevaría a una nueva migración reemplazando la infraestructura actual e implicando un nuevo esfuerzo económico.

El 99% de medidores en todo el país (un número mayor a 1.400.000) son leídos manualmente [1], mediante un funcionario de ANDE que visita por mes al medidor del cliente registrando el consumo y cargando al sistema comercial para su facturación [2]. El otro 1% (menor a 6.000 medidores) consiste en *lectura remota*, sin intervención humana y con tecnología módem *GSM/GPRS* mediante una *simcard* de telefonía móvil capaz de recuperar y enviar los parámetros de los medidores hacia un servidor que integra una interfaz gráfica denominada *SAMR* para la gestión de las lecturas [1]. Esta solución aplica en clientes que son inquilinos de edificios, departamentos o comercios y recibe el nombre de *cabinas tele medidas* [3].

### 1.2 Problema

La *lectura manual* implicó un costo de más de 46 mil millones de Gs. en el 2020 [4] y casi el 90% de las lecturas corresponden a clientes residenciales, aproximadamente 1.400.000 clientes hoy día [1]. Leer un medidor costaría en promedio casi 30.000 Gs. anuales [4]. Se idea entonces reducir este coste para generar nuevas utilidades. No existen precedentes de soluciones de lectura remota a gran escala en la institución, apenas algunas experiencias piloto. Por ejemplo, el módem de las *cabinas tele medidas*, tuvo un costo de unos 133 dólares [5], lo cual no es viable implementar en medidores de clientes residenciales individuales. El desafío es encontrar una solución de tele medición viable económicamente para poder abarcar los domicilios considerando la inversión que supondría más del millón de clientes.

El precio de *medidores inteligentes* monofásicos o trifásicos está entre 560.000 Gs. y 1.050.000 Gs. respectivamente [6]. Proyectando al más del millón de clientes sería una inversión de más de 100 millones de dólares sin considerar gastos por softwares, equipos de comunicación, servidores ni costos de integración, lo que resulta en un esfuerzo económico importante. En conclusión, una alternativa sería aprovechar las inversiones ya realizadas e incorporar dispositivos capaces de recolectar y transmitir datos de mediciones dotando de funciones inteligentes a los medidores actuales.

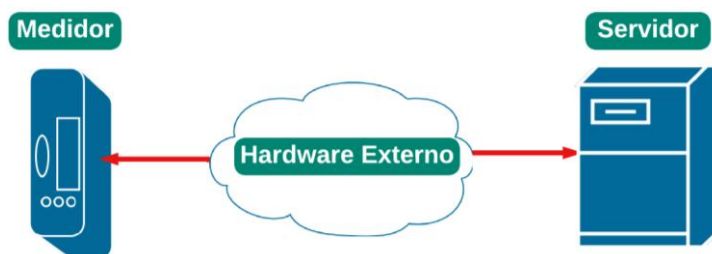
### 1.3 Solución

Se propone desarrollar un prototipo hardware externo asequible para automatizar la lectura remota de medidores electrónicos con puerto *RS485*, disponiendo los parámetros hasta un servidor de manera automática cada cierto periodo de tiempo. Cuenta con 2 etapas: la etapa de *Recolección de Datos* adquiriendo los parámetros a través del protocolo *IEC 62056-21* y la etapa de *Transmisión de Datos* para disponerlos al servidor. La solución dota a la actual infraestructura la capacidad inherente a un *medidor inteligente*: la tele medición y a partir de esto, poder escalar hacia más funciones *AMI*.

---

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

Como se describe en la *figura 1* desarrollada por los autores, se pretende un dispositivo externo asequible aprovechando las infraestructuras funcionales, los *medidores electrónicos* en servicio y el *backend* ya funcional en la institución. Éste último ahorraría gastos de hosting y de integraciones si utilizamos el *SAMR* de las *cabinas tele medidas*. Se enfoca entonces directamente sobre el dispositivo a desarrollar y el sistema de comunicación a integrar. Actualmente se registran unos 957.930 medidores con interfaz de comunicación *RS485* para intercambio de datos con equipos de lectura [7]. Por lo tanto, el medio físico a utilizar para este desarrollo de comunicación será un *bus RS485*, por su capacidad inmune a ruidos, en caso que se requiera largas distancias de cableado entre el dispositivo y el medidor.



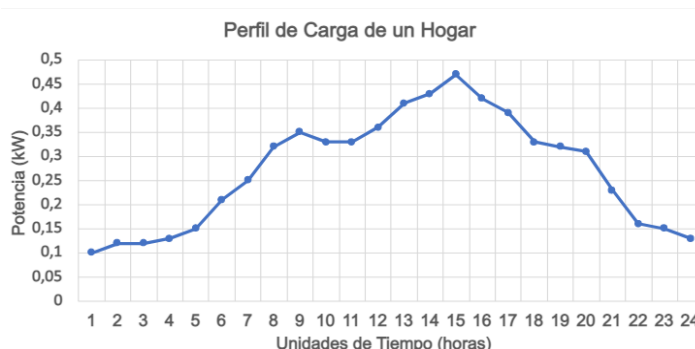
**Figura 1: Solución macro con dispositivo externo**

#### 1.4. Beneficios cuantificables y no cuantificables de la solución

La reducción del costo de lectura podrá cuantificarse directamente por la cantidad de medidores que ahora serán tele medidos al contar con el monto que se gasta por año, unos 30.000 Gs. /medidor. La regularidad con la que se dispondrán ahora los parámetros cada cierto periodo de tiempo (horas, días, semanas, etc.), aportará más registros del *consumo eléctrico* durante el mes. La compañía será capaz de generar beneficios no cuantificables económicamente mediante el uso del *Perfil de Carga*.

#### 1.5 Lectura manual y remota de medidores

La diferencia sustancial es que la lectura manual aporta sólo un único registro del *consumo eléctrico* mientras que la lectura remota puede aportar varios registros mensualmente, con la frecuencia que se configure. La *figura 2*, desarrollada por los autores; muestra la demanda de potencia eléctrica de un hogar en función al tiempo:



**Figura 2: Perfil de carga de un hogar pequeño**

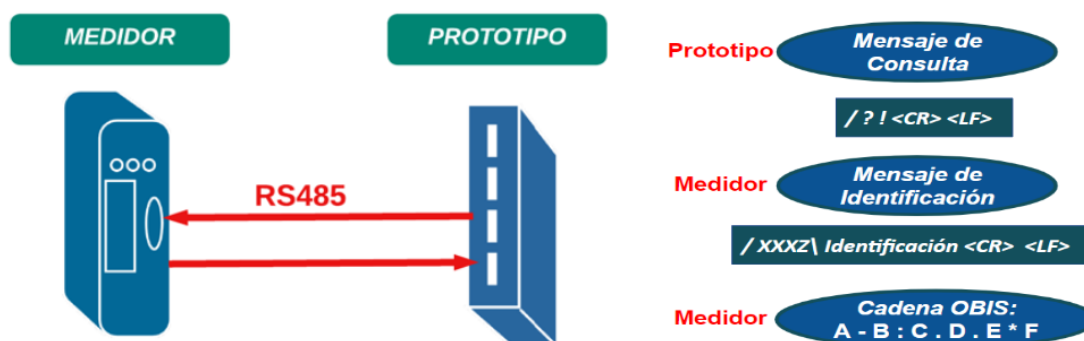
XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

Se la denomina *Perfil de Carga* y se genera a través de varios registros del *consumo eléctrico*. La lectura manual adquiere el valor del *área bajo la curva* en *kWh* del *Perfil de Carga* y que será el único registro mensual, suficiente para facturación. Este valor es el *consumo eléctrico* y es acumulativo en *medidores electrónicos* al sumarse constantemente conforme la energía fluye de la red hacia el recinto del cliente y que está disponible en el *display* del medidor para los lectores. La lectura remota, en cambio, genera nuevas fuentes de información para tomar decisiones en la empresa.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Intercambio de datos con medidores electrónicos

Las señales de salida digitales de *medidores electrónicos* se transmiten por las interfaces de comunicación en un formato de datos especificado por el protocolo *IEC 62056-21* que pueden recuperarse tanto por el puerto óptico como por el *puerto RS 485*. La *figura 3* resume el intercambio de datos con los medidores [8]:



**Figura 3: Etapa de recolección de datos**

La comunicación sobre el *bus RS485* es *punto a punto half duplex* a 300 baudios con el formato de datos *7E1* (1 bit de inicio, 7 de datos, 1 paridad par, 1 parada). El prototipo envía la *consulta* y el medidor se *identifica* con 3 letras (XXX) y un número (Z) seguido de un código alfanumérico para efectivamente enviar una cadena llamada *OBIS* que contiene todos los parámetros de consumo, denominado *Read Out* [8]. Este será el proceso a implementar en un microcontrolador seleccionado mediante un algoritmo de programación.

### 2.2 El código OBIS

El *Sistema de Identificación de Objetos (OBIS, por sus siglas en inglés)* consiste en códigos que almacenan los *parámetros del medidor* como el valor de sus magnitudes eléctricas [9]. Por defecto A=1 para medir magnitudes eléctricas, y B y F se omiten [9]. Los objetos o *cadena OBIS* con que interactúa este trabajo de investigación se muestra en la siguiente tabla y es debido a que los medidores de *ANDE* utilizados durante el desarrollo sólo producen a sus salidas estos valores o algunos de ellos variando los campos C y D y manteniendo E=0. Se expone la *tabla 1* para recordar aquellos *OBIS* que utilizan los medidores electrónicos de la *ANDE*:

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

**Tabla I: El Read Out de los medidores de ANDE**

C	D	E	Concepto
96.	1.	0	Número de medidor
31.	7.	0	Corriente Instantánea fase R
51.	7.	0	Corriente Instantánea fase S
71.	7.	0	Corriente Instantánea fase T
15.	8.	0	Consumo
1.	6.	0	Demanda Máxima
3.	8.	0	Energía reactiva

Para la facturación es imprescindible el *OBIS 15.8.0* que es el *consumo eléctrico absoluto* y el cual es acumulativo. Algunos medidores envían el *OBIS 1.6.0* que es el valor de la máxima potencia demandada en el mes mientras que todos envían el *OBIS 96.1.0* utilizado como un ID para el sistema comercial. Si el medidor es monofásico o trifásico, envían 1 o las 3 corrientes instantáneas.

### 2.3 Infraestructura de las telecomunicaciones: Protocolos de Comunicación

La *tabla II* describe los aspectos relevantes de diferentes protocolos de comunicación [10] teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas al considerar si ya existe alguna infraestructura que justifique implementarlo para esta solución. Para la etapa de *Transmisión de Datos* se debe seleccionar una tal que el precio de la solución no se incremente por adquisición de otros equipos o por el costo de licencias de comunicación.

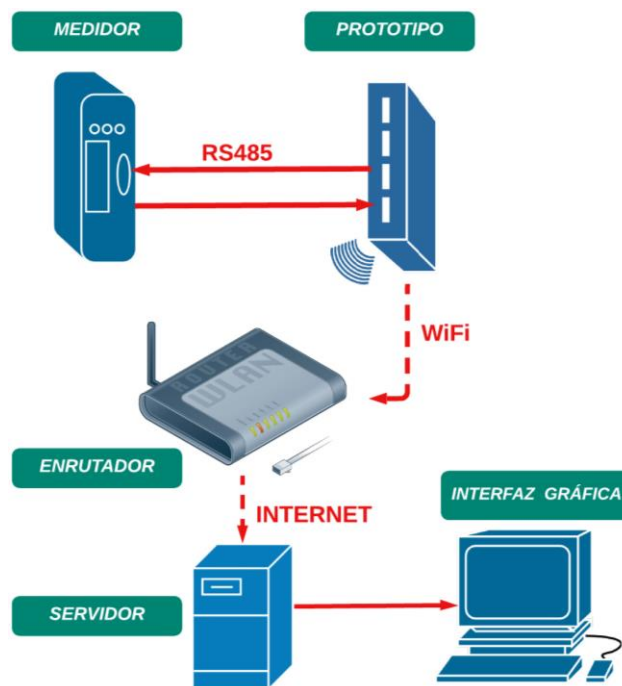
**Tabla II: Protocolos de comunicación**

Protocolos	Red	Velocidad	Alcance	Ventajas	Desventajas
PLC	LAN	30 MBps	Mayor a 200 m	Red local privada propiedad de la empresa de distribución que aumenta la seguridad	Requiere equipos auxiliares de comunicación (Gateways, etc)
LoRaWAN	WAN	250 bps - 50 kbps	2 m - 15.000 m		
Zigbee	LAN	Máx. 250 kbps	Hasta 30 m		
WiFi		Hasta 600 Mbps	Hasta 30 m (interiores)	Infraestructura disponible para acceso a Internet	La conectividad depende del proveedor
SigFox	WAN	100 - 600 bps	10.000 - 50.000 m	Red privada	Requiere el pago de licencias o servicio
GSM/GPRS		250 kbps - 10 Mbps	200 m - 3.000 m	Con infraestructura de proveedores	
LTE 4G					

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Selección de un sistema de comunicación y microcontrolador

El sistema de comunicación a integrar será la red *WiFi* a través del router del proveedor de Internet del hogar por la gran disponibilidad de este servicio, ahorrando en adquirir equipos auxiliares. La solución se convierte en un *dispositivo IoT* o *Internet de las Cosas* que hace que el medidor se conecte a la red de redes para prestar un servicio de lectura remota a la ANDE. Se utilizará además el *Nodemcu*, que es una tarjeta *open source* programable en *lenguaje C* o *micro Python*, con costo de 1.85 dólares y que consiste en el microcontrolador *ESP8266*, modelo *ESP12E*; integrando la antena soldada a la placa de 2.4 GHz para conexión *WiFi*. Cuenta con 2 *puertos UART*, indispensables para la comunicación con el medidor a 300 baudios. La *figura 4* desarrollada también por los autores, describe la idea general de la solución y los dispositivos involucrados:



**Figura 4: Esquema general de la solución**

#### 3.2 Prototipado y pruebas

El prototipo final es el de la *figura 5* y que es propiedad de los autores. En resumen, se utilizan los 2 puertos *UART* del *Nodemcu*. Uno transmitirá el *mensaje de consulta* (*pin D4*) y el otro recibirá el *mensaje de identificación* más la *cadena OBIS* (*pin RX*). Como la comunicación con medidores es por el *bus RS485*, se necesita un *convertidor RS485/UART* bidireccional, entre el microcontrolador y el medidor. Se seleccionó entonces al *transceptor MAX485* en un módulo denominado *HW-97*, ideal para conversiones de niveles lógicos *TTL* a *RS485* y viceversa, además a un bajo costo a 0.38 dólares cada uno. Se configuran como *transmisor* y *receptor* conectando los pines *DE* y *RE* juntos, a *Vcc* y *Gnd* respectivamente.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

El nivel de tensión que manejan los *pin*s GPIO del *Nodemcu* es de 3,3 V como entrada, por lo que no podría soportar tensiones de 5V en el *puerto* UART de *recepción* (*pin* RX) a la salida del convertidor (*pin* RO) de manera directa si no es por algún regulador de tensión previo. Para el *transmisor* (*pin* DI) no existe ese inconveniente ya que el módulo HW-97 funciona a nivel lógico TTL. El tamaño del buffer del microcontrolador deberá aumentarse mediante sus líneas de *código abierto* disponible en su firmware para almacenar la *cadena* OBIS. Un valor de 1024 bytes fue suficiente para leer varios modelos de medidores. Los *pin*s A y B de cada módulo convertidor y del medidor, se conectan entre sí para formar el *bus* RS485. Se procesa todos los parámetros de consumo que llegan por el *pin* RX del *Nodemcu* en formato 8N1 (1 bit inicio, 7 de datos, sin paridad, 1 parada), transformando el formato 7E1 original mediante un algoritmo en la etapa *Recolección de datos*. La etapa de *Transmisión de Datos* se realiza mediante conexión WiFi al router inalámbrico a 2,4 GHz apuntando al servidor en cuestión. El router se encargará efectivamente de disponer por Internet los parámetros hasta el servidor y cumplir con el objetivo. Para ello, el dispositivo deberá registrar el nombre de la red (*SSID*) y el *password* para poder acceder a la red local del hogar por el router. La alimentación del dispositivo se realizó a través de una fuente de alimentación regulada a  $V_{cc}=5V$  energizando con la red eléctrica directamente.

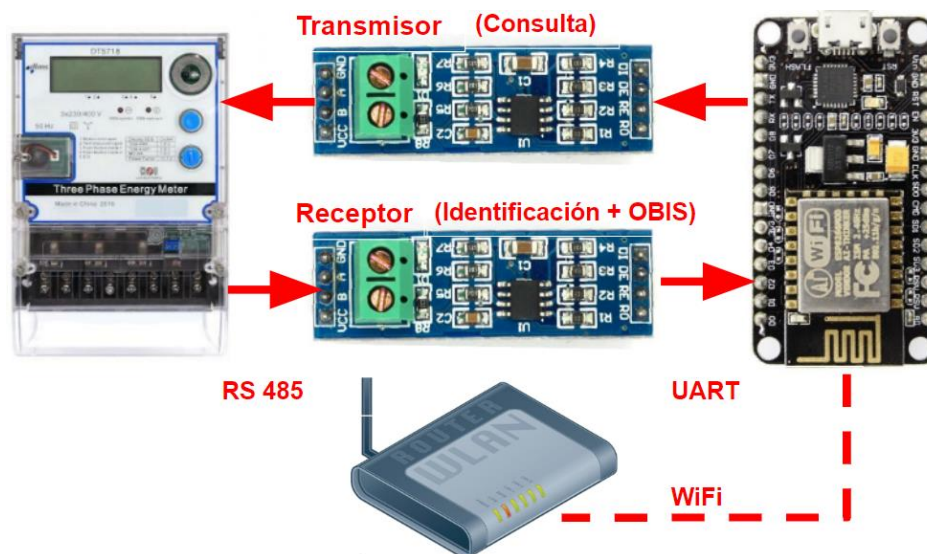
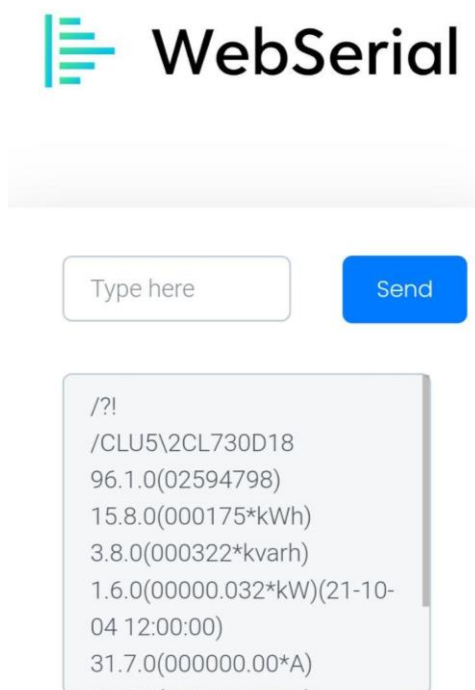


Figura 5: Dispositivo final desarrollado

Toda la programación se ha llevado a cabo en lenguaje C. Para la prueba que cumplió finalmente el objetivo se utilizó una librería denominada *Web Serial* que consiste en hacer funcionar al microcontrolador como un pequeño servidor local dentro de la red inalámbrica del hogar que ahora será capaz de desplegar una página web a través de una dirección IP y un puerto asignado, para comprobar que efectivamente los parámetros de consumo están ahora en Internet y que pasan por el router. La prueba consistió en recopilar en bruto toda la comunicación con el medidor, desde el *mensaje de consulta* hasta la *cadena* OBIS para disponerlos en otros dispositivos (PC, smartphone, etc) de la red que apunten a la IP de este servidor (192.168.1.181:8080). Esta dirección, al escribir en la barra de direcciones o URL del navegador, cargará el contenido de la página web y se dispondrán los parámetros de consumo emulando ser un servidor de ANDE. Se pudo verificar que la comunicación ha sido exitosa mediante un screen en un smartphone en la red WiFi, mostrada con la *figura 6* tomada por los autores de esta contribución:

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022



**Figura 6: Disponibilización de los parámetros de consumo en un Smartphone**

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El resultado en la *figura 6* demuestra lo logrado y se puede decir que el objetivo trazado ha sido cumplido satisfactoriamente, considerando un costo total aproximado de 15 dólares para el prototipo finalizado (incluyendo placa, fuente de energía, borneras) como un precio asequible. Ahora bien, para estrictamente hacerlo funcional en la ANDE, se debe realizar pruebas piloto con el SAMR o algún tipo de servidor específico HTTP o broker MQTT, ya que el dispositivo es capaz de adaptarse por medio de la programación, utilizando distintas funciones de conexión dentro de su gama de librerías disponibles para el efecto. Un nivel mayor de seguridad sería una siguiente etapa de desarrollo para optimizar esta solución. Esto requeriría obviamente una mayor inversión al utilizar por ejemplo una red WiFi privada propiedad exclusiva de la ANDE en vez de la red del hogar, evitando la manipulación del dispositivo o el router e independizando la solución de la conectividad del cliente. Esto podría lograrse con el uso de routers para internet instalados en los postes de la ANDE que posibiliten un acceso a Internet de manera privada evitando el acceso de terceros mediante un filtrado de las direcciones MAC (*Control de Acceso al Medio*) desde el router, permitiendo únicamente que un grupo de estos dispositivos instalados que están cercanos al mismo, puedan conectar a Internet para disponer sus parámetros hasta el servidor. Además, como el prototipo es programable, es posible crear nuevas funciones incorporadas sobre la tele medición y la comunicación bidireccional, como corte y conexión remota por morosidad, envío de alertas en caso de fallas o manipulación, sistemas multi tarifarios, etc., proporcionando varios de los beneficios que un sistema AMI tradicional puede lograr, pero a costos bastante menores.



**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Memoria Anual 2020. Administración Nacional de Electricidad, Paraguay, 2021, páginas 15-84.
- [2] G. Vani, and, V. Usha Reddy, “Application of smart energy meter in indian energy context,” in IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Mayo-Junio 2015, páginas 7-13.
- [3] “Desarrollo del sistema automático de lectura de medidores - SAMR - Fase 1”, PTI Paraguay - Parque Tecnológico Itaipu, Paraguay, 2021, páginas 1-12.
- [4] Balance General Analítico año 2020. Gerencia Financiera de la Administración Nacional de Electricidad, ANDE, 2020, página 1.
- [5] Contrato de la licitación 271381-Lp 684-14: Adquisición de Equipos y Materiales para el Mejoramiento de la Medición de Clientes MT/AT. Dirección Nacional de Contrataciones Públicas, Paraguay, 2015, páginas 1-105.
- [6] Especificaciones Técnicas para el Suministro de Medidores Básicos Inteligentes y el Software de Gestión y Monitoreo Asociado en una Solución AMI (Advanced Metering Infrastructure). Dirección Ejecutiva de Redes Inteligentes de la Administración Nacional de Electricidad, Paraguay, 2022, páginas 1-104.
- [7] Distribución de Medidores con Puerto de Comunicación RS-485 en BT. Departamentos Pérdidas Técnicas de la Administración Nacional de Electricidad, Paraguay, 2021, página 1.
- [8] IEC 62056-21: Electricity Metering - Data Exchange for Meter Reading, Tariff and Load Control - Part 21: Direct Local Data Exchange. International Electrotechnical Commission, Suiza, 2002, páginas 1- 142.
- [9] COSEM Interface Classes and OBIS Object Identification System. DLMS User Association, Suiza, 2017, páginas 1-229.
- [10] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería. “Alternativas de comunicación para redes de sensores AMI en Internet de las cosas para escenario energético en ciudades inteligentes”, volumen 29 número 1, Octubre 2020, páginas 158-167.