



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Prof. Patrocinante:
Sergio Sobarzo Guzmán

**Diseño e Implementación de Sistema de Recolección,
Almacenamiento y Visualización de Datos
Provenientes de un Smart Meter**

Francisca Antonia Miranda Cáceres

Informe de Memoria de Título para optar al Título de
Ingeniera Civil en Telecomunicaciones

Concepción, Chile
Abril, 2019

Resumen

Las llamadas redes inteligentes o Smart Grid, son redes eléctricas que utilizan tecnologías de información y telecomunicaciones para maximizar la calidad del suministro, eficiencia y seguridad de la red eléctrica, aportando diversos beneficios tanto a la empresa eléctrica que presta el servicio como al consumidor, favoreciendo la comunicación entre ambos y entregando una información más exacta y confiable.

Este trabajo se centra en la medición inteligente, a través de un Smart Meter, dispositivo electrónico avanzado de medición inteligente, que permiten conocer el consumo eléctrico detallado de un lugar. Así, haciendo uso de las tecnologías de comunicación y electrónica, se extraen los datos medidos por el Smart Meter mediante una Raspberry Pi, la interacción de ambos dispositivos se realiza utilizando un conversor USB- RS485, el cual utiliza el protocolo de comunicación correspondiente al medidor, Modbus RTU, una vez ya extraídos los datos se visualizan en la Raspberry Pi y se almacenan en una Base de datos (BD) Web, mediante MySQL, la administración de la BD se realiza mediante un PC central, en el cual se visualizan los datos en ella. Finalmente se podrá hacer uso de los datos de la BD desde cualquier dispositivo con acceso a ella.

Agradecimientos

Gracias a mis padres, Lorena y Antonio por el apoyo y amor incondicional en todo este proceso, por darme las herramientas para hacer esto posible y por siempre confiar en que lograría mis objetivos; a mi hermano, por siempre contagiarme de su alegría, por apoyarme durante todos estos años y ser un gran amigo y hermano; a mi pololo, Francisco, por ser un apoyo incondicional en todo momento, por siempre alentarme a no bajar los brazos y ser un compañero de vida y aventuras; a mi abuelita, por su infinito amor y apoyo, por sus consejos que siempre agradeceré; a toda mi familia, por ser un pilar fundamental en mi vida, personas con las que siempre pude contar; a mis amigos y compañeros, a los que conocí en este proceso y a los que estaban desde antes, por siempre estar disponibles para una palabra de apoyo y momentos de relax, por permanecer a mi lado a pesar de la distancia o el estrés; a los docentes por entregarme las herramientas necesarias para llegar a este proceso.

Gracias, sin ustedes este proceso hubiera sido mucho más difícil.

Sinceramente,

Francisca Antonia Miranda Cáceres.

Índice

RESUMEN.....	1
AGRADECIMIENTOS	2
NOMENCLATURA.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.2 ESTADO DEL ARTE.....	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	11
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	12
1.5 ANÁLISIS DE COSTOS	12
1.6 METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO 2 SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 RED ELÉCTRICA CONVENCIONAL	14
2.3 CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS EN CHILE	15
2.4 MARCO LEGAL	16
2.4.1 <i>Ley 20.571</i>	16
2.4.2 <i>Norma Técnica de calidad de servicio para Sistemas de Distribución</i>	16
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO	18
3.1 INTRODUCCIÓN	18
3.2 SMART GRID	18
3.3 COMPARACIÓN RED ELÉCTRICA CONVENCIONAL Y SMART GRID	22
3.4 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN DENTRO DE UNA SMART GRID.....	23
3.4.1 <i>Local</i>	23
3.4.2 <i>Smart Meter - Concentrador</i>	25
3.4.3 <i>Concentrador-Servidor</i>	26
3.5 CONCEPTOS ELÉCTRICOS	27
CAPÍTULO 4 DISEÑO	30
4.1 INTRODUCCIÓN	30
4.2 DISEÑO GENERAL DE TRABAJO.....	30
4.3 MEDICIÓN	31
4.4 EXTRACCIÓN DE DATOS	31
4.5 ALMACENAMIENTO.....	32
4.6 VISUALIZACIÓN	32

CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN	33
5.1 INTRODUCCIÓN	33
5.2 IMPLEMENTACIÓN GENERAL DE TRABAJO	33
5.3 MEDICIÓN	34
5.4 EXTRACCIÓN.....	36
5.5 ALMACENAMIENTO.....	39
5.6 VISUALIZACIÓN	41
CAPÍTULO 6 RESULTADOS.....	43
6.1 INTRODUCCIÓN	43
6.2 MEDICIÓN	43
6.3 EXTRACCIÓN.....	47
6.4 ALMACENAMIENTO.....	50
6.5 VISUALIZACIÓN	52
CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO.....	58
7.1 CONCLUSIÓN	58
7.2 TRABAJO FUTURO.....	59
CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA.....	60

Nomenclatura

AMR: AUTOMATIC METER READING.

AMI: ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE.

BD: BASE DE DATOS.

GEI: GAS DE EFECTO INVERNADERO.

HAN: HOME AREA NETWORK.

HMI: HUMAN MACHINE INTERFACE

Hz: HERTZIOS.

IEEE: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS.

IEC:INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION.

kV: KILOVOLTIO.

kW:KILOWATT.

kVA: KILO VOLT-AMPERE.

LAN: LOCAL AREA NETWORK.

PLC: POWER LINE COMMUNICATION.

RF: RADIO FRECUENCIA.

SBC: SINGLE BOARD COMPUTER.

SEA: SISTEMA ELECTRICO DE AYSÉN.

SEM: SISTEMA ELECTRICO DE MAGALLANES.

SEN: SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.

SIC: SISTEMAS INTERCONECTADO CENTRAL.

SD: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

TCP/IP: TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL/INTERNET PROTOCOL.

TIC: TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.

UDP: USER DATAGRAM PROTOCOL.

UHF: ULTRA HIGH FREQUENCY.

V:VOLTS.

WAN: WIDE AREA NETWORK.

Índice de Tablas

1.1 COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO.	13
3.1 COMPARACIÓN RED CONVENCIONAL Y SMART GRID.....	22
5.1 PARÁMETROS MEDIDOS RSPRO SMART METER	33

Índice de Figuras

2.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y FLUJO DE ENERGÍA DE UNA RED ELÉCTRICA CONVENCIONAL.....	14
3.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y FLUJO DE ENERGÍA UNA SMART GRID.....	19
3.2 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y FLUJO DE DATOS UNA SMART GRID.....	20
3.3 COMUNICACIÓN MODBUS MAESTRO- ESCLAVO	24
3.4 DIAGRAMA RED PLC SIMPLIFICADA.....	26
3.5 TRIÁNGULO DE POTENCIAS.....	28
4.1 ESQUEMA DISEÑO GENERAL DE TRABAJO.	30
5.1: ESQUEMA IMPLEMENTACIÓN GENERAL DE TRABAJO.....	33
5.2 SMART METER RSPRO.	34
5.3 ESQUEMA DE MEDICIÓN.....	35
5.4 RASPBERRY PI 3.....	36
5.5 CONVERTOR RS485.....	36
5.6 ESQUEMA DE EXTRACCIÓN DE DATOS.....	37
5.7 CONEXIÓN PHPMYADMIN RED	39
5.8: CONEXIÓN PHPMYADMIN FUERA DE LA RED	40
5.9 INTERFAZ VISUALIZACIÓN.	42
6.1: MEDICIÓN POTENCIA, VOLTAJE Y CORRIENTE PRUEBA 1.	44
6.2: MEDICIÓN ENERGÍA ACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 1.....	44
6.3: MEDICIÓN ENERGÍA REACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 1.	44
6.4: MEDICIÓN POTENCIA, VOLTAJE Y CORRIENTE PRUEBA 2.....	45
6.5: MEDICIÓN ENERGÍA ACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 2.	45
6.6: MEDICIÓN ENERGÍA REACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 2.....	45
6.7: MEDICIÓN POTENCIA, VOLTAJE Y CORRIENTE PRUEBA 3.....	46
6.8: MEDICIÓN ENERGÍA ACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 3.....	46
6.9: MEDICIÓN ENERGÍA REACTIVA CONSUMIDA (IMP) E INYECTADA (EXP) PRUEBA 3.....	46
6.10.: EXTRACCIÓN DE DATOS SMART METER MEDIANTE SOFTWARE DESARROLLADO PRUEBA 1.....	47
6.11.: EXTRACCIÓN DE DATOS SMART METER MEDIANTE SOFTWARE DESARROLLADO PRUEBA 2.....	48
6.12.: EXTRACCIÓN DE DATOS SMART METER MEDIANTE SOFTWARE DESARROLLADO PRUEBA 3.....	49
6.13: VISUALIZACIÓN BD SMARTMETER_FRANCISCA.....	50
6.14: ALMACENAMIENTO E. ACTIVA CONSUMIDA E INYECTADA.....	50
6.15: ALMACENAMIENTO E. REACTIVA CONSUMIDA E INYECTADA.....	51

6.16: ALMACENAMIENTO POTENCIA Y VOLTAJE.	51
6.17.: ALMACENAMIENTO CORRIENTE.	51
6.18: VISUALIZACIÓN MEDIANTE INTERFAZ PRUEBA 1.	52
6.19: VISUALIZACIÓN MEDIANTE INTERFAZ PRUEBA 2.	53
6.20: VISUALIZACIÓN MEDIANTE INTERFAZ PRUEBA 3.	53
6.21: VISUALIZACIÓN CON ENERGÍA REACTIVA CONSUMIDA Y USO DE HERRAMIENTAS VISUALES, MEDIANTE INTERFAZ.	54
6.22: VISUALIZACIÓN, OPCIÓN SALIR	54
6.23: VISUALIZACIÓN, OPCIÓN ACERCA DE.	55
6.24: VISUALIZACIÓN CORRIENTE MEDIANTE PLATAFORMA WEB.	55
6.25: VISUALIZACIÓN VOLTAJE MEDIANTE PLATAFORMA WEB.	56
6.26: VISUALIZACIÓN POTENCIA MEDIANTE PLATAFORMA WEB.	56
6.27 VISUALIZACIÓN ENERGÍA ACTIVA CONSUMIDA MEDIANTE PLATAFORMA WEB.	57

Capítulo 1

Introducción

La energía eléctrica, desde su descubrimiento, se transformó rápidamente en algo indispensable para el ser humano. Actualmente, la mayoría de nuestras actividades cotidianas dependen del correcto funcionamiento de esta red, aumentando cada vez más su uso, debido a los múltiples dispositivos que hacen uso de la electricidad para funcionar. Sin embargo, a pesar de que actualmente la red eléctrica tiene un aceptable funcionamiento, no está dando solución a peticiones tanto de la ciudadanía como del empresariado. Para dar solución a dichas deficiencias y también para traer múltiples beneficios, llegan las llamadas redes inteligentes o Smart Grid.

El principal componente de las Smart Grid, son los medidores inteligentes o Smart Meter, los cuales son medidores que permiten lecturas automáticas y remotas, además de permitir a los clientes optar, siempre y cuando la empresa distribuidora lo permita, a tarifas flexibles diferenciadas por tramos horarios, de manera de poder administrar sus consumos y transformarse en participantes activos del uso de su electricidad. También permite la bi-direccionalidad en la medición, ya que puede medir tanto el consumo como los aportes de energía autogenerada que se hagan desde los hogares, pudiendo vender la energía excedente a la empresa distribuidora. Esta característica facilita la incorporación de fuentes renovables de energía en los domicilios, lo que se conoce como generación distribuida favoreciendo además la disminución de gases de efecto invernadero (GEI).

1.1 Definición del problema

Las redes inteligentes, están recién comenzando, este cambio en la red eléctrica y la implementación de nuevas tecnologías, trae consigo mucha desinformación en la población y en los trabajadores en general, provocando un estado de alerta y rechazo a todo dispositivo perteneciente a esta nueva red. Es por esto, que resulta de gran importancia comenzar a conocer y hacer uso de estos dispositivos, generando así, investigaciones y trabajos que permitan acercar a estas tecnologías a toda la ciudadanía, conociendo su uso y beneficios.

A partir de esto, en este proyecto se busca desarrollar un sistema capaz de recolectar, transmitir, almacenar y graficar los datos adquiridos desde un Smart Meter, de una manera accesible y poco costosa, teniendo así un acercamiento a esta tecnología.

Cabe mencionar que actualmente existe un proyecto del cual la Universidad de Concepción es parte, llamado “An ICT platform for sustainable energy ecosystem in smart cities (ITCity)”, en el que participa el Dr. Luis García Santander, docente del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería. Este proyecto espera como resultado el diseño de una plataforma inteligente TIC que promoverá iniciativas de eficiencia energética en ciudades y municipios, contribuirá a la planificación urbana y a una convivencia más amigable con el medioambiente.

1.2 Estado del Arte

Las Smart Grid llegan a dar solución a diversos aspectos que la red actual no ha sido capaz de solucionar. Actualmente el mundo se encuentra en diferentes etapas de implementación de Redes Inteligentes, sin ir más lejos, en países como España hace ya un par de años comenzó el recambio de medidores a través de un Real Decreto y el año pasado tenían como límite que todos los clientes domésticos accedieran a los Smart Meter [3], sin embargo, en nuestro país es una realidad más bien reciente.

Los medidores inteligentes son claves para llevar a cabo las redes inteligentes, en general en el mercado ya existe diversos medidores que poseen las características de almacenar en memoria sus registros de medida, que pueden rescatar su información horaria y que además permiten la medición bidireccional [18].

La conciencia ecológica y la eficiencia en el uso de los recursos naturales es una de las áreas que también potencia el uso de las Smart Grid. Las personas están cada vez más conscientes del cuidado de la naturaleza, el uso eficiente de los recursos naturales y al impacto que el desarrollo de sus actividades cotidianas tiene sobre el planeta, por lo que están cada vez más interesadas en instalar sus propios sistemas de auto-generación, reducir las emisiones de CO₂ y dar importancia de comenzar a aumentar la generación de electricidad a partir de fuentes renovables para el año 2030 como base para lograr la transición a un futuro energético sostenible [20]. La puesta en marcha de la Ley 20.571 y la bi-inyección de energía que permiten los Smart Meter, dan solución a esta preocupación y conciencia ecológica [1]. Esto se concreta para el caso eléctrico con una entrada masiva de recursos de generación distribuida, proceso que trae consigo la necesidad de incrementar la flexibilidad de la red para poder gestionar en tiempo real la fluctuación de las fuentes renovable [27].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general es realizar la implementación de un sistema capaz de medir, recolectar, almacenar y visualizar datos provenientes de un Smart Meter, de manera económica y poco compleja.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Comprender conceptos teóricos del funcionamiento de las Smart Grid.
- ✓ Comprender la utilización de dispositivos tecnológicos a utilizar para este proyecto.
- ✓ Realizar mediciones con un Smart Meter.
- ✓ Acceder a los datos medidos por el Smart Meter.
- ✓ Almacenar y graficar los datos extraídos.

1.4 Alcances y Limitaciones

La limitación que se presenta, es poder tener acceso a las diferentes nuevas tecnologías de una Smart Grid, específicamente al concentrador, que presenta costos no alcanzables para un proyecto como este, es por esto que se estudiaran diferentes tecnologías que nos permitan extraer los datos del Smart Meter a partir de un mini computador.

1.5 Análisis de costos

A continuación, se describirán los dispositivos utilizados en el presente proyecto y se cuantificarán los costos que se requieren para llevarlo a cabo.

Smart Meter RSPro 144-0529 es un medidor de potencia multifunción monofásico, que mide y muestra los parámetros de calidad de la energía eléctrica. El medidor se ha construido para cubrir la mayoría de las aplicaciones (redes monofásicas / pulsos incorporados y Modbus RS485). Reemplazando así la necesidad de varios modelos diferentes.

Raspberry Pi 3, minicomputador que incorpora una CPU Cortex-A53 de cuatro núcleos, 64bit y 1.2Ghz, incluye conexión Wi-Fi de 802.11n y Bluetooth 4.1.

Tarjeta de Memoria de 64 Gb, para hacer uso de la Raspberry Pi.

RS485, permite establecer comunicación entre 2 dispositivos utilizando la interface RS485. Integra un conversor USB a serial TTL (CH340) y un chip serial a RS485 (MAX485). La interface RS485 es un estándar industrial ampliamente utilizado por su robustez, fácil implementación y buenas prestaciones.

Tabla 1.1 Costos asociados al proyecto.

Dispositivo	Costo
Smart Meter RSPro	\$ 64.046
RS485	\$ 6.500
Raspberry Pi 3	\$ 35.000
Carcasa Raspberry Pi 3 + Ventilador	\$ 7.990
Tarjeta de Memoria 64 Gb	\$ 18.990

Las horas de trabajo estimadas para realizar este proyecto, son 480 horas.

1.6 Metodología

La metodología de trabajo de esta memoria de título consiste primero en un estudio teórico sobre el funcionamiento de las Smart Grid y sus componentes, para luego realizar un diseño del sistema que se enfoca en medir a partir de un Smart Meter comercial el consumo de diferentes dispositivos electrónicos.

Posteriormente se extraen los datos mediante un mini computador, donde son graficados en tiempo real y enviados a un computador, el cual tendrá una BD generada a partir de un Sistema de Gestión de BD Web, a la cual se podrá tener acceso mediante otros dispositivos para hacer uso de los datos según se desee, por ejemplo, posibilitar al usuario ver su consumo. La implementación de dicho sistema se lleva a cabo a partir de diferentes dispositivos y tecnologías que cumplen con los requerimientos dados en el diseño.

Capítulo 2

Sistema Eléctrico en Chile

2.1 Introducción

En este capítulo se explicará el sistema actual de electricidad que posee Chile y además se mostrarán algunos aspectos legales relevantes para el proyecto.

2.2 Red Eléctrica Convencional

Hasta ahora, las compañías de electricidad han sido las responsables de administrar la red eléctrica en Chile, las que funcionan a través de una red interconectada, y son las encargadas de suministrar la energía a la ciudadanía. Estas actividades son desarrolladas por completo por empresas privadas, las que realizan las inversiones necesarias dentro de la normativa específica que rige para cada uno de estos sectores

El mercado eléctrico en Chile, desde el lado de la oferta energética, está compuesto por tres sectores cuyas actividades hacen posible la disposición de la energía eléctrica en los distintos puntos del mercado. La interconexión física de los componentes de cada uno de estos sectores se denomina sistema eléctrico [16]:



Fig 2.1: Esquema de funcionamiento y flujo de Energía de una red Eléctrica Convencional (Elaboración Propia).

Generación: sector que tiene como función la producción de la energía eléctrica a través de distintas tecnologías tales como la hidroeléctrica, termoeléctrica, eólica, solar, entre otras.

Transmisión: sector que tiene como función la transmisión, en niveles altos de voltaje, de la energía producida a todos los puntos del sistema eléctrico.

Distribución: sector que tiene como función el distribuir, en niveles de voltaje más reducidos que los de Transmisión, la energía desde un cierto punto del sistema eléctrico a los consumidores regulados que este sector atiende.

Los sectores de transmisión y distribución se desarrollan dentro de un esquema de sectores regulados, por la característica de monopolio que tienen ambos sectores, mientras que Generación lo hace bajo reglas de libre competencia.

2.3 Características de sistemas eléctricos en Chile

El mercado eléctrico chileno está compuesto por tres sistemas independientes, los cuales operan con la red eléctrica actual y son los encargados de asegurarse que la mayor parte del país posea electricidad, a continuación, se describirá cada uno:

- **Sistema Eléctrico Nacional (SEN):** sistema compuesto por los antiguos sistemas Interconectado Central (SIC) y Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). A febrero de 2019 contaba con una capacidad instalada neta de 23.155 MW. El 47% de la capacidad instalada corresponde a fuentes renovables (14% hidráulica de embalse, 12%, hidráulica de pasada, 2% mini hidráulica de pasada, 10% solar fotovoltaico, 7% eólico, 2% biomasa) mientras que el 53% corresponde a fuentes térmicas (21% carbón, 19% gas natural y 13% diésel) [14].

- **Sistema Eléctrico de Aysén (SEA):** sistema que produce electricidad para abastecer la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. A febrero de 2019 posee una capacidad instalada neta de 63 MW, con un 58% diésel, 36% hidráulica y 6% eólica [14].

- **Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM):** sistema que produce electricidad para abastecer la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. A febrero de 2019 posee una capacidad instalada neta de 104 MW, con un 83% gas natural, 15% diésel, y 2% eólica [14].

2.4 Marco Legal

2.4.1 Ley 20.571

Esta Ley, conocida también como Netbilling, Netmetering o Generación Distribuida, entrega el derecho a los usuarios a vender sus excedentes directamente a la distribuidora eléctrica a un precio regulado, el cual está publicado en el sitio web de cada empresa distribuidora.

“Los usuarios finales sujetos a fijación de precios, que dispongan para su propio consumo de equipamiento de generación de energía eléctrica por medios renovables no convencionales o de instalaciones de cogeneración eficiente, tendrán derecho a inyectar la energía que de esta forma generen a la red de distribución a través de los respectivos empalmes” [4].

Se explicitan requisitos como equipamiento, capacidad instalada, tarifas, propiedad del medidor inteligente, medios de pago, etc. Todo esto con el fin de poder proteger al consumidor/generador de posibles abusos por parte de la empresa distribuidora.

Todo sistema de generación eléctrica que busque acogerse a esta ley, debe ser declarado ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC, que desde el año 2015 cuenta con una Unidad Técnica Especializada en Energías Renovables no Convencionales para atender los requerimientos de la ciudadanía.

2.4.2 Norma Técnica de calidad de servicio para Sistemas de Distribución

Algunas definiciones que establece la normativa vigente [8] pertinente, son:

- **Alimentador:** Circuito que forma parte de la Red de Distribución que se extiende desde una Subestación Primaria de Distribución o desde un Alimentador de propiedad de otra Empresa Distribuidora, desde donde recibe energía, hasta el punto de conexión en el cual se conectan las instalaciones de Clientes y Usuarios. El Alimentador será de propiedad de una sola Empresa Distribuidora, no pudiendo existir Alimentadores con más de un propietario.

- **Cabecera de Alimentador:** Punto de conexión entre el Alimentador y la fuente de alimentación principal, la que normalmente corresponde a una Subestación Primaria de Distribución u otro Alimentador.

- **Calidad de Servicio:** Conjunto de propiedades y estándares que son inherentes a la actividad de distribución de electricidad, y que constituyen las condiciones bajo las cuales dicha actividad debe desarrollarse. Se determina conjuntamente por la Calidad de Producto, la Calidad de Suministro y la Calidad Comercial entregada por la Empresa Distribuidora a sus distintos Clientes y Usuarios.

- **Calidad Comercial:** Componente de la Calidad de Servicio que permite calificar el Servicio Comercial y la Calidad de Atención prestada por la Empresa Distribuidora a sus Clientes o Usuarios, y que se caracteriza, entre otros, por el plazo de restablecimiento del servicio, la información proporcionada al Cliente o Usuario, la adecuada medición de los consumos y su facturación, la puntualidad en el envío de boletas o facturas y la atención y conexión de nuevos suministros de Clientes o Usuarios.

- **Calidad del Producto:** Componente de la Calidad de Servicio que permite calificar el producto entregado por la Empresa Distribuidora y que se caracteriza, entre otros, por la magnitud, la frecuencia y la contaminación de la tensión instantánea de suministro.

- **Calidad del Suministro:** Componente de la Calidad de Servicio que permite calificar el suministro entregado por la Empresa Distribuidora y que se caracteriza, entre otros, por la frecuencia, la profundidad y la duración de las Interrupciones de Suministro.

- **Sistemas de Medición, Monitoreo y Control:** Sistemas que forman parte del Sistema de Distribución y que permiten la Medición, Monitoreo y Control en los Puntos de Conexión de los Clientes sometidos a regulación de precios. Forman parte de estos sistemas los compactos de medida, medidores y sistemas de comunicación, concentradores y software necesario para su implementación, entre otros.

- **Sistemas de Medida para Transferencias Económicas:** Conjunto de Instalaciones y Equipos que forman parte del Sistema de Distribución que permite medir, registrar y almacenar los datos de los consumos de energía y potencia de los Clientes no sometidos a regulación de precios.

- **Sistema de Monitoreo:** Conjunto de Instalaciones y Equipos forman parte del Sistema de Distribución que permite medir, registrar y almacenar las distintas variables Sistema de Distribución que permite medir, registrar y almacenar las distintas variables relevantes de Calidad de Producto y Calidad de Suministro que caracterizan el estado de operación de los Sistemas de Distribución.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1 Introducción

En este capítulo se describirá la base teórica para el desarrollo del proyecto.

3.2 Smart Grid

Red eléctrica que puede integrar en forma inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ella, tales como, generadores, consumidores y aquellos agentes que hacen ambas acciones, de forma tal de entregar suministro eléctrico sostenible, económico y seguro, de manera eficiente.

Al contrario de una red eléctrica convencional, las Smart Grid admiten un flujo de energía bidireccional, permitiendo así que la energía consumida por los usuarios no sea solamente la provista por la compañía eléctrica, sino que también puedan ingresar a ella energías producidas por el propio usuario, proveniente de fuentes menos contaminantes, como se mencionó anteriormente. De esta forma el esquema de funcionamiento cambia, ingresando a este, la nueva tecnología proveedoras de energía y a su vez, tecnologías que permitan guardar la energía producida o entregada. La figura 3.1 a continuación ilustra lo descrito anteriormente, mostrando esquemáticamente una notoria diferencia con la Figura 2.1.

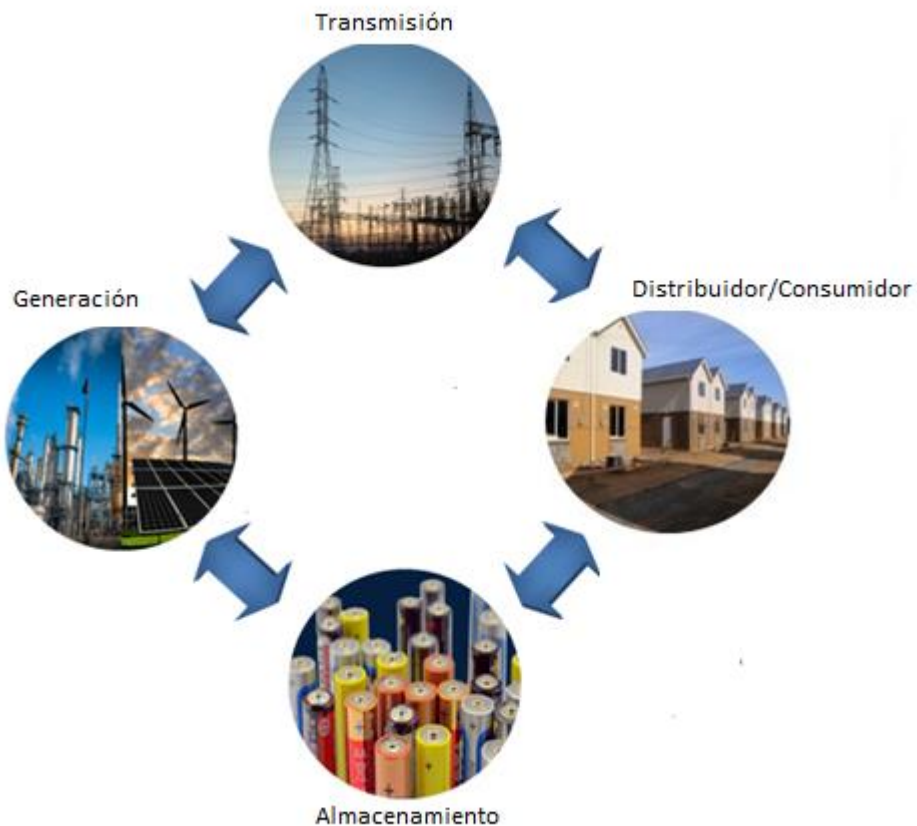


Fig 3.1: Esquema de funcionamiento y flujo de Energía de una Smart Grid (Elaboración propia).

El principal componente de las Smart Grid, son los medidores inteligentes o Smart Meter, medidores que permiten lecturas automáticas y remotas, también permite la bi-direccionalidad en la medición, ya que puede medir tanto el consumo como los aportes de energía autogenerada que se hagan desde los hogares, posibilitando el consumo o la venta de excedentes a la empresa distribuidora.

Por otro lado, las Smart Grid poseen diferentes estructuras para la transmisión y almacenamiento de los datos medidos por cada Smart Meter, a continuación, se explicará una de ellas:

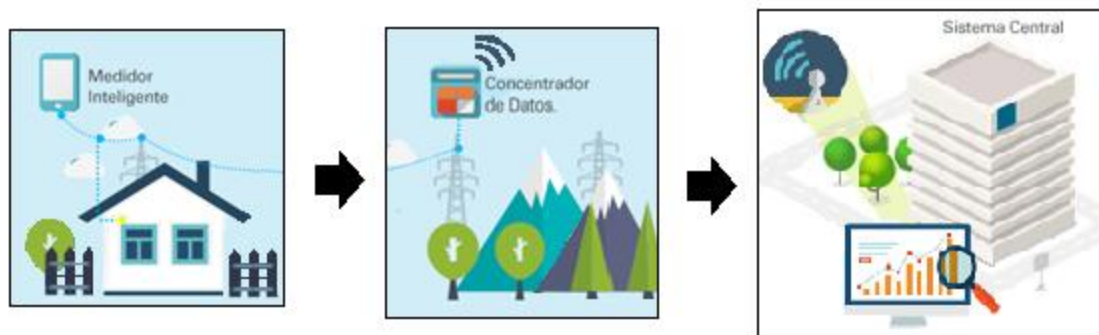


Fig 3.2: Esquema de funcionamiento y flujo de datos de una Smart Grid (Elaboración propia con imágenes de ENEL [13]).

I. Medidor

Mediante el uso de los medidores inteligentes o Smart Meter, se lleva a cabo la medición del consumo, recopilando estos datos e información de manera avanzada de una residencia, registrando el consumo e inyección a la red. Posteriormente dicha medición es transmitida de manera segura al módulo concentrador.

Los Smart Meter son medidores eléctricos digitales que recopilan información sobre el uso de la energía y la envían en forma segura al centro de operaciones y control, similar a los medidores actuales, pero con la gran diferencia de que no solo permite medir el consumo, sino que también nos permitirá medir la inyección de energía que se realice a la red mediante fuentes de energía no convencionales.

Actualmente en el comercio se pueden encontrar diferentes modelos de Smart Meter, con diferentes características y beneficios. A continuación, se describirán brevemente los modelos y las distintas funciones que pueden realizar [3]:

a. **Visualización de datos en la pantalla incorporada en el Smart Meter:** es el modelo más simple de contadores digitales, sólo muestra los datos de consumo en una display LCD que posee el contador.

b. **Visualización de datos en la pantalla incorporada en el Smart Meter y exportación de datos en un ordenador:** es un contador igual que el anterior, pero con la diferencia que lleva incorporado un puerto USB, el cual da la opción de exportar los datos medidos.

c. **Visualización de datos en página Web:** es el contador más avanzado que se puede encontrar en el mercado, ofrece gran variedad de datos, los cuales están siempre disponibles para su visualización en la página web de la empresa.

II. Concentrador

Es el módulo encargado de recibir los datos de medición de diversos Smart Meter en una región específica. Se espera que cada concentrador tenga un grupo fijo de medidores conectados a éste. La labor principal de estos concentradores es reenviar los datos a un sistema centralizado.

Debe poseer una memoria amplia de almacenamiento y autonomía de funcionamiento en caso de perder la conexión con el servidor o que ocurra una falla eléctrica, de esta manera, se impedirán las pérdidas de datos y se permitirá la recuperación de ellos para su descarga manual posterior envío al momento que se restablece la conexión [24].

III. Sistema central:

Es un sistema que permite gestionar de manera remota los medidores y concentradores de datos, además sirve de conexión entre estos y los sistemas comerciales y técnicos de la compañía [23].

Lo dividiremos en 2 partes principales:

- **Transmisión**

Es el modulo encargado de transportar los datos desde el concentrador hasta la central. Puede ser a través de un proveedor de servicios de Internet de conexión cableada o móvil, o a través de una conexión directa punto a punto propiedad de la empresa distribuidora de electricidad. Se debe cumplir con que el ancho de banda de este enlace sea capaz de transportar los datos generados sin saturar la línea para evitar las posibles pérdidas de datos.

- **Almacenamiento**

Recibe los datos de los concentradores y los guarda de manera organizada, para que así estén disponibles para su posterior análisis, visualización o facturación. Debe ser capaz de almacenar grandes cantidades de datos que se generan en una implementación de cientos de medidores.

3.3 Comparación Red Eléctrica Convencional y Smart Grid

A continuación, se mostrará una tabla resumen en donde se compara el comportamiento y las características principales de una Smart Grid y la red Eléctrica convencional.

Tabla 3.1: Comparación Red Convencional y Smart Grid [16].

Características	Red Convencional	Smart Grid
Resiliencia, fiabilidad y seguridad	Vulnerable a los errores y los desastres naturales.	Resistente a los ataques y errores con una rápida recuperación dada la capacidad de identificar el origen del problema, aislarlo y restablecer el suministro en zonas no afectadas a través de la red mallada (incluso, puede darse de forma automática).
Integración de la generación y del almacenamiento	Generación centralizada con grandes centrales eléctrica ubicadas en pocos lugares y lejos del consumo. Dificultad para integrar las fuentes de energía distribuida.	Facilidad para integrar las fuentes de energía distribuida (renovables) en todo territorio y cerca de los lugares de consumo, por lo que se reducen las pérdidas por transporte y distribución.
Participación de los consumidores	Tienen un papel pasivo y no están lo suficiente informados.	Están implicados, bien informados y desempeñan un papel activo.
Optimización y eficiencia de las operaciones	Flujo de potencia unidireccional, sin utilizar la capacidad de la infraestructura (generando mayores costes de inversión y mantenimiento).	Flujo de potencia bidireccional. Capacidad para reducir los picos de consumo y optimización en el uso de la capacidad disponible en el sistema a partir de incorporar flexibilidad, evitando el sobredimensionamiento.

3.4 Tecnologías de Comunicación dentro de una Smart Grid

Una Smart Grid posee una estructura muy amplia de comunicaciones, la cual debe estar preparada para trabajar con la gran cantidad de datos presente en esta infraestructura, provenientes de sensores y de todas las aplicaciones y/o dispositivos interconectados en la misma.

Esta infraestructura de comunicación debe cumplir ciertos requerimientos de comunicación para ser implementada, tales como:

- Permitir una fácil ampliación y debe hacer frente a cambios futuros.
- Flexible para compartir datos y posibilitar el intercambio de información.
- Alto índice de seguridad dentro de la red, asegurando la privacidad y confiabilidad de los datos, además de asegurar la autenticidad y disponibilidad de dichos datos en momentos que se requieran.
- Ser una red en la que se minimicen los retardos en la recepción de la información para gestionarse la respuesta óptima en el menor tiempo posible.

Separaremos las comunicaciones dependiendo del tramo de la Smart Grid en donde se ocuparán, así obtenemos:

3.4.1 Local

~ ZigBee

Es una tecnología confiable, económica y de baja potencia, diseñada especialmente como un sistema inalámbrico de área en el hogar, desarrollada por ZigBee Alliance con las bases de un estándar público. Posee compatibilidad con el estándar IEEE 802.15.4 y consta de una versión “pro” con mayor alcance. ZigBee es ampliamente usado para la creación de sistemas automatizados, sistemas de seguridad, el control remoto, lectura remota de medidas, entre otros. Sin embargo, ZigBee puede presentar problemas de interferencia con otras redes, al compartir o acercarse a ciertos canales espectrales. También posee baja capacidad de procesamiento. Por lo tanto, la implementación de una red ZigBee debe estar bien planificada y estructurada, centrándose en el tráfico de datos, la topología de malla es comúnmente usada para apoyar las aplicaciones de gran escala [2].

- **Protocolo ModBus**

Protocolo de solicitud-respuesta, originalmente implementado como un protocolo al nivel de la aplicación con la finalidad de transferir datos por una capa serial. Es uno de los protocolos más antiguo y llegó a ser uno de los más utilizados en aplicaciones industriales debido a su funcionalidad y bajo costo en el mercado, Modbus se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo serial, TCP/IP, UDP o RTU. Es implementado usando una relación maestro-esclavo, por ende, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una HMI o sistema SCADA y el esclavo es un sensor, control PLC (controlador lógico programable) o PAC (controlador de automatización programable).

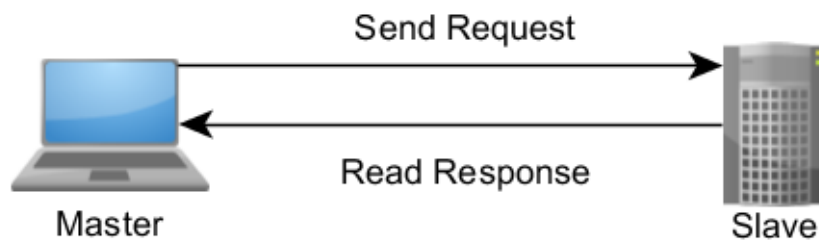


Fig 3.3: Comunicación ModBus Maestro-Esclavo [23].

- **Bluetooth**

Forma parte de los estándares de redes inalámbricas de área personal, IEEE 802.15.1. Este estándar desarrolla las comunicaciones de baja potencia y corto alcance, donde también se establece la operación de 2.4GHz a 2.4835GHz, que son bandas sin licencias. Su uso es básicamente en el área del monitoreo en línea y la automatización de sistemas. Vale destacar que, a diferencia de otros estándares, el Bluetooth posee un sistema débil de seguridad, también es conocido por poseer bajo costo y poco consumo de potencia.

3.4.2 Smart Meter - Concentrador

- PLC

Es una tecnología que utiliza la línea de potencia eléctrica para hacer el traspaso de información entre sus extremos. Al usar la estructura ya existente hace que este tipo de comunicación sea atractiva y menos costosa para muchos escenarios en donde los sistemas de comunicación inalámbrica poseen poca o ninguna recepción. Se puede dividir esta tecnología en dos grupos:

- PLC de banda estrecha (NB-PLC), operando normalmente por debajo a 500kHz.
- PLC de banda ancha (BB-PLC) usualmente operando en frecuencia alrededor de 1.8Mhz.

En una Smart Grid, esta tecnología se implementa en el tramo que comprende el medidor inteligente y el concentrador de datos. Su principio consiste en la superposición de una señal de alta frecuencia (de 1,6 a 30MHz) con bajos niveles de energía sobre la señal de la red eléctrica de 50 Hz. Esta segunda señal se transmite a través de la infraestructura de la red eléctrica y se puede recibir y decodificar de forma remota. Así, la señal PLC es recibida por cualquier receptor PLC, en este caso, un equipo llamado concentrador que usualmente se encuentra junto a los transformadores de baja tensión, el cual recibe las mediciones de todos los medidores a su alcance para luego transmitir los datos al servidor de la empresa. Este sistema puede alcanzar distancias optimas de 5km, al ser más larga las distancias se requieren de dispositivos de amplificación de la señal para mantener de forma eficiente el intercambio de información.

Se debe mencionar que para la utilización de esta tecnología se requieren elementos adicionales en cada transformador para poder mantener la continuidad de la señal, sin embargo, como las líneas eléctricas no fueron diseñadas para transmitir datos, la comunicación puede ser compleja y ruidosa, lo que causa interferencia y da como resultado comunicaciones inestables. Los principales factores de interferencia son las grandes variaciones en las impedancias de carga que producen cambios en el factor de potencia de la línea dinámicamente, atenuación selectiva en frecuencias portadoras producida por aparatos eléctricos encendidos al azar y ruido en la línea producto de fuentes conmutadas. A pesar de que existen métodos para reducir estas interferencias, estos resultan complejos de implementar ya que se debe analizar las características de cada línea de transmisión a corregir [19].

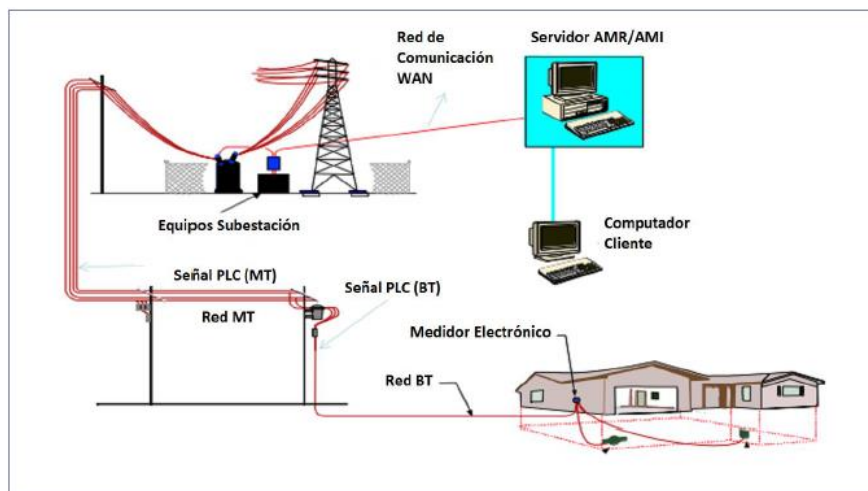


Fig 3.4: Diagrama Red PLC Simplificada [19].

~ RF

Esta técnica utiliza el espacio aéreo para transmitir señales, su funcionamiento consiste en nodos principales equipados con antenas, las cuales realizan la labor de repetidoras. Usualmente operan a UHF, las cuales operan en el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

Se clasifican en 2 grupos principales:

- Largo Alcance (RF de largo alcance).
- MESH (RF MESH): es una arquitectura de malla inalámbrica integra puntos de acceso de proveedores de comunicación de múltiples medidores. Con este enfoque, las empresas de servicios públicos pueden ampliar su infraestructura AMI existente y migrar gradualmente a la banda ancha inalámbrica de alta velocidad.

Las RF son de alta confiabilidad, auto curación y rentabilidad con amplios rangos de cobertura.

3.4.3 Concentrador-Servidor

~ Celular

Las tecnologías de comunicación celulares son comunicaciones inalámbricas que se realizan a través del aire usando el espectro radioeléctrico. En Chile se utilizan las frecuencias entre 850MHz a 2600MHz, es una infraestructura robusta y segura, ampliamente difundida, con cobertura casi total en el país, enfocada a una gran cantidad de clientes con la capacidad de soportar protocolos de transferencia de datos, disminuyendo así el costo de infraestructura y mantenimiento.

~ **Fibra óptica.**

Este método de comunicación consiste en un hilo de material transparente, compuesto por aleaciones de vidrio y plástico, por el cual se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

Posee un costo más elevados que otras tecnologías, sin embargo, se caracteriza por su alta velocidad de transferencia de datos, pérdidas casi nulas y por su inmunidad al ruido, su implementación es ideal para las redes de retorno o troncales, donde los puntos de acceso son limitados y se requiera de largas distancias.

3.5 Conceptos Eléctricos

A continuación, se definirán brevemente algunas variables eléctricas que serán utilizadas y relevantes para el proyecto.

- **Voltaje:** tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado. Su unidad de medida es Volt (V).

- **Corriente:** cantidad de carga eléctrica que circula por un punto específico de un circuito. Por convención la corriente se considera como el paso de cargas eléctricas que pasan desde la terminal positiva a la negativa. Su unidad de medida es Amperios representado por (A).

- **Potencia:** capacidad que tiene un equipo eléctrico para realizar un trabajo o la cantidad de trabajo que realiza por unidad de tiempo.

Sin embargo, en los equipos que funcionan con corriente alterna coexisten tres tipos diferentes de potencia, Potencia Activa, Reactiva y Aparente, su relación se observa a continuación:

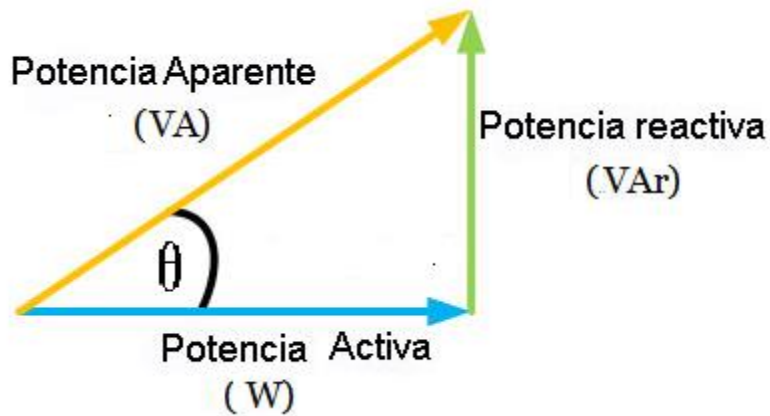


Fig 3.5: Triángulo de Potencias.

- **Potencia Activa (P):** representa en realidad la potencia útil medida en watts (W), es decir, la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Su valor se calcula con la siguiente fórmula.

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\theta)$$

- **Potencia Reactiva (Q):** potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, respectivamente, pero que no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores. Su unidad de medida es el voltamperio reactivo (VAr). Su valor se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q = V \cdot I \cdot \sen(\theta)$$

- **Potencia Aparente(S):** potencia total que se toma de la red de distribución eléctrica, es la cantidad total de potencia que consume un equipo eléctrico, está compuesta por una parte real (Potencia activa) y una parte imaginaria (Potencia reactiva) y su módulo resulta ser la suma vectorial entre ambas potencias. Su unidad de medida es el voltamperio (VA) Su valor se calcula con la siguiente fórmula.

$$S = V \cdot I$$

▪ **Factor de Potencia (f_p):** cociente entre la potencia activa y a potencia aparente, está determinado por el tipo de cargas conectadas a la instalación, siendo las cargas resistivas las que tienen un factor de potencia próximo a la unidad. Su valor se calcula con la siguiente fórmula.

$$f_p = \cos(\theta)$$

▪ **Energía Activa:** energía que se aprovecha como trabajo, es decir, al poner en movimiento un mecanismo o maquinaria los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como, mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Su unidad de medida es (kWh).

▪ **Energía reactiva:** es la energía que no produce ningún trabajo útil y a su vez perjudica la transmisión de energía a través de las líneas de distribución eléctrica. Es la que consumen los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos que poseen algún tipo de bobina o capacitor para crear un campo electromagnético, Su unidad de medida es (kVArh).

Capítulo 4

Diseño

4.1 Introducción

En este capítulo se pretende abordar el diseño para llevar a cabo el objetivo principal y específico del proyecto.

4.2 Diseño general de trabajo

En la Fig 4.1 se observa los módulos de trabajo del sistema, en el presente capítulo, se detallarán las características y algunos requerimientos para cada uno de ellos, para así asegurar un correcto funcionamiento del proyecto.

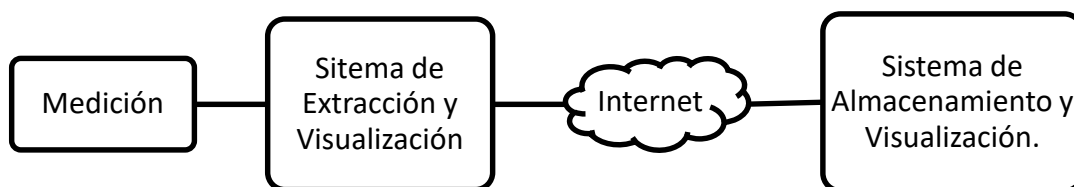


Fig 4.1 Esquema Diseño General de Trabajo.

4.3 Medición

En este módulo se utilizará un medidor de consumo eléctrico comercial. Su función debe ser medir el consumo eléctrico de ciertos dispositivos consumidores de electricidad. Las características básicas de este dispositivo deben ser:

- ~ Debe poseer medición del consumo eléctrico en ambos sentidos, de esta forma cumplir con la ley 20.571 [16].
- ~ Poseer seguridad eléctrica, impidiendo posibles descargas eléctricas de parte del usuario o cualquier persona que pueda tener acceso a él.

4.4 Extracción de datos

Generalmente, este módulo es realizado por el concentrador de datos comercial, módulo que recibe los datos desde distintos contadores que tenga conectados, pero adquirir este dispositivo presenta variadas dificultades, la mayor es el gran valor monetario, inalcanzable para el proyecto, además de estar diseñado y programado para la interacción con su plataforma, lo que nos ataría a adquirir el software del proveedor para almacenar los datos, convirtiéndose en una idea muy poco eficiente.

Es por esto que en lugar del concentrador comercial, se usará un mini computador (Placa SBC) fácil de conseguir comercialmente, el cual extraerá los datos, en este caso desde un Smart Meter. Para poder hacer la extracción de datos, este módulo debe tener los siguientes mínimos requerimientos:

- ~ Capacidad de memoria que permita guardar cierta cantidad de datos en caso de alguna falla de conexión con el sistema central.
- ~ Debe poseer el protocolo de comunicación del Smart Meter, en caso de no poseerlo, debe tener un dispositivo externo que se lo provea.
- ~ Debe permitir la utilización de diversos lenguajes de programación, que permitan el acceso a los datos y su visualización.

4.5 Almacenamiento

Este módulo es el encargado de guardar los datos extraídos del Smart Meter en un Sistema de Gestión de BD Web dentro de un PC que tomará el papel de Sistema central, en donde se almacenarán de forma organizada y estarán disponibles para la revisión o uso de cualquier persona que la requiera. Dicho sistema debe poseer los siguientes requerimientos:

- Debe ser operado solo por el computador que desempeña la labor de Sistema central, evitando que otra persona modifique la forma de almacenar o vaya a tener acceso a los datos sin consentimiento de la empresa o del usuario.
- Debe ser capaz de almacenar gran cantidad de datos.
- Debe proteger los datos ya que son datos privados del usuario, por ende, el usuario o alguna persona externa escogida por el usuario deben ser los únicos que tengan acceso a los datos.
- Debe guardar los datos de manera ordenada y fácil de visualizar. Se debe crear una tabla para cada valor medido, la cual guardara el dato, la unidad de medida, la hora y fecha de guardado correspondiente.

4.6 Visualización

Finalmente, los datos serán visualizados en el mini computador, PC central y la página WEB de MySQL.

La visualización en el mini computador y el PC central se realiza a través de una Interfaz Gráfica de Usuario. En el minicomputador deben ser visualizados los datos extraídos en tiempo real, pudiendo ver rápidamente si hay alguna variación extraña de consumo. En cambio, en el computador central serán visualizados los datos accediendo a ellos a partir de la BD. La Interfaz de visualización debe ser clara y controlable por el usuario o la empresa eléctrica, esto quiere decir que ellos deben decidir cuándo comenzar o detener la gráfica, puede poseer detalles de visualización como colores, número de graficas al mismo tiempo, tamaño de gráfica, estos parámetros son a elección del programador o a petición del usuario.

Mientras que las visualizaciones de los datos en la página WEB se realizan de manera manual acorde a las herramientas que la pagina utilizada nos entregue.

Capítulo 5

Implementación

5.1 Introducción

En este capítulo, se describirá la implementación del proyecto, dando énfasis en las tecnologías utilizadas y en la interacción entre ellas.

5.2 Implementación General de Trabajo

A continuación, se observa la implementación General de Trabajo y la interacción entre las distintas tecnologías.

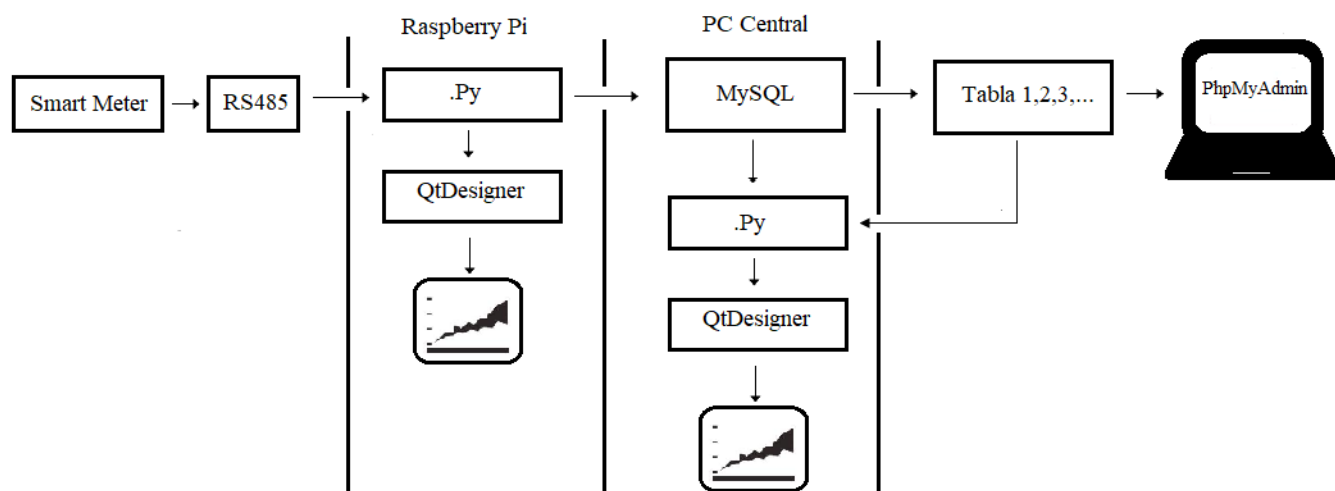


Fig 5.1: Esquema Implementación General de Trabajo.

5.3 Medición

Para la medición de los datos en el presente proyecto se hará uso del Smart Meter RSPro facilitado por la Facultad, mediante el proyecto “An ICT platform for sustainable energy ecosystem in smart cities (ITCity)”, este medidor de diseño moderno, medirá y mostrará los parámetros de calidad de la energía eléctrica, gracias a la medición de alta precisión y la rápida comunicación a través del canal de comunicación RS485 que se puede programar para el protocolo Modbus RTU.

Los parámetros medidos, monitoreados y mostrados son los siguientes:

Tabla 5.1 Parámetros medidos RSpro Smart Meter

Tensión de fase a neutro 100 a 289 V a.c	Energía Activa Importada kWh
Fase corriente A a.c.	Energía Activa Exportada kWh
Frecuencia Hz	Energía Reactiva Importada VArh
Potencia instantánea MW	Energía Reactiva Exportada kVArh
Voltios-amperios VA	Energía Total Activa kWh
Voltaje V	Energía Total Reactiva kVArh
Corriente A	Potencia Activa W
Potencia Aparente VA	Potencia Reactiva VAr



Fig 5.2: Smart Meter RSpro.

En este proyecto se extraerán y guardarán solo las variables especificadas a continuación:

- Energía Activa Inyectada.
- Energía Activa Consumida.
- Energía reactiva Consumida.
- Energía reactiva Inyectada.
- Potencia activa.
- Corriente.

La estructura de trabajo para este módulo será la presentada a continuación en la figura 5.1.

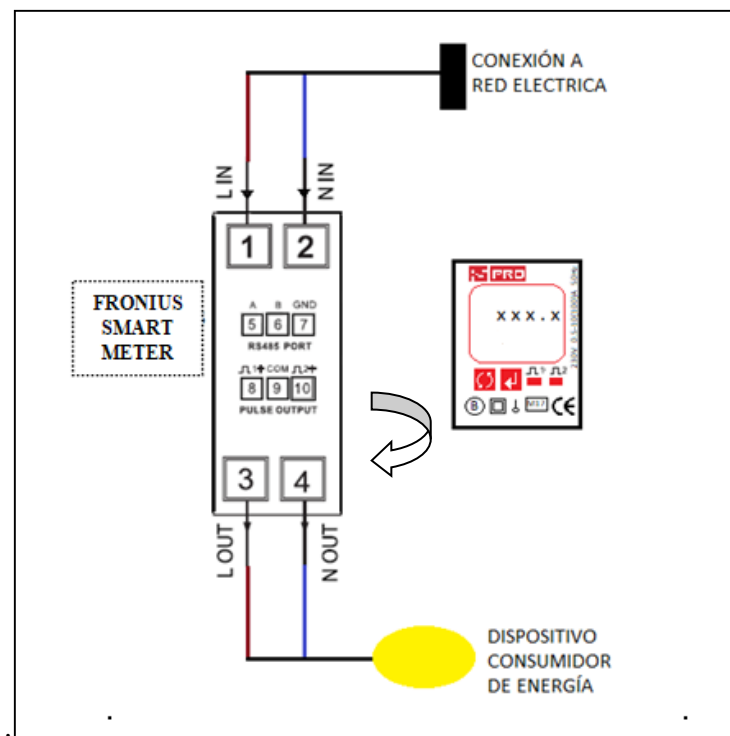


Fig 5.3: Esquema de Medición (Elaboración Propia).

En la figura 5.3 podemos observar que el Smart Meter se conecta a la red eléctrica a través de sus pines de entrada (1 y 2), por otro lado, en los pines de salida (3 y 4), se conectará un dispositivo consumidor de energía, de esta forma la energía consumida por el dispositivo será medida por el Smart Meter. Para este proyecto, en el dispositivo consumidor de energía se usará un alargador múltiple de 4 tomas, lo que permitirá conectar a él diferentes dispositivos consumidores eléctricos, teniendo así una variación de carga, lo que hará más atractiva las mediciones.

5.4 Extracción

Como se mencionó en el capítulo anterior, la extracción de los datos se realizará en un mini computador o placa SBC, para este proyecto se escogió la Raspberry Pi 3, placa computadora u ordenador de placa reducida, es una computadora completa en un sólo circuito. El diseño se centra en un sólo microprocesador con la RAM y todas las demás características de un computador funcional en una sola tarjeta que suele ser de tamaño reducido y que tiene todo lo que necesita en la placa base.



Fig 5.4: Raspberry Pi 3.

Para realizar esta extracción se debe tener en cuenta el protocolo de comunicación del medidor inteligente, que en este caso es comunicación Modbus RTU. Debido a que la Raspberry Pi no cuenta con este protocolo, se necesitará un receptor compatible, por ello, se usará el conversor RS485 con USB, dispositivo que permite la comunicación con el protocolo Modbus a otro dispositivo sin este protocolo.



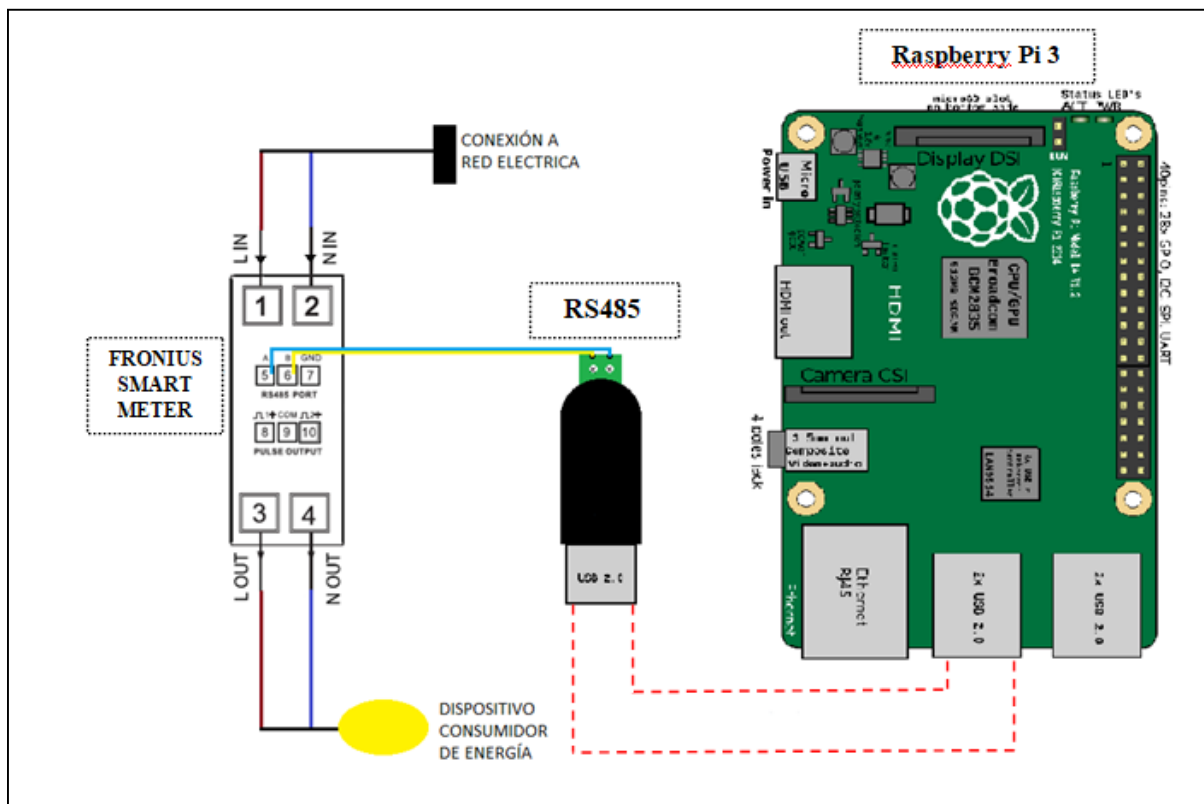
Fig 5.5: Conversor RS485.

La comunicación se hará de manera directa, conectando los pines A y B (5 y 6 respectivamente) del Smart Meter a los pines A y B del conversor y este último se conectará la Raspberry Pi mediante USB.

De esta forma la Raspberry Pi extrae los datos del Smart Meter y, además, en caso de falla eléctrica, al poseer una memoria suficiente, logra guardar por cierto instante de tiempo los últimos datos medidos y vuelve a enviarlos a la red central una vez recuperada la energía. Para hacer uso de esa cualidad, se guardarán los últimos 1000 valores medidos de cada variable eléctrica en cada instante de tiempo en un archivo .txt, por ende, en caso de algún tipo de pérdida de conexión con la BD, se podrá evitar perder algún dato.

En este caso no se hace uso de una tecnología de comunicación específica entre el medidor y “concentrador” o sistema de extracción de datos, como sería en caso comercial, debido a que la extracción de los datos se hizo de manera directa mediante el conversor RS485-USB.

En este módulo se utilizará la estructura que se muestra en la figura a continuación.



Para acceder a los datos del Smart Meter se utilizó el lenguaje de programación Python mediante Py Modbus, librerías de completa implementación del protocolo Modbus.

Cabe mencionar que al utilizar el protocolo de comunicación Modbus RTU, se debe establecer un cliente y un servidor (maestro-esclavo), en este caso el cliente será el Smart Meter y el servidor será el programa en la Raspberry Pi.

Para conectarse al Smart Meter se utiliza el comando **ModbusClient** (method, port, timeout, stopbits, bytesize, parity, baudrate), para este caso el método será **'rtu'** y el port **'/dev/ttyUSB0'** debido a que la comunicación se realiza mediante un Puerto USB, cabe mencionar que el valor de baudrate o velocidad de transmisión debe ser el mismo que posee el Smart Meter, los cuales pueden ser 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, de otra forma no será posible la comunicación. Los otros parámetros se pueden variar según lo que se desee.

Para acceder a cada variable se utilizó el comando **read_input_registers** (0xXXX, xx) (*), los registros de entrada se utilizan para indicar los valores actuales de las cantidades eléctricas medidas y calculadas. Las variables para este comando son la "Dirección de inicio" y el "Número de puntos", la variación mínima de cualquiera de las dos variables nos mostrara otro valor.

Posteriormente usamos **BinaryPayloadDecoder.fromRegisters** (x.registers, byteorder, wordorder). Con este comando se realiza una decodificación binaria de cada registro, en lugar de byteorder y wordorden se usará Big Endian, formato de almacenamiento donde los bits más significativos se almacenan en la posición más baja de memoria, mientras que los menos significativos se guardan en las más altas consecutivas. Cabe mencionar que en x.register, el valor de x corresponde a la variable que realiza la lectura del registro de entrada (*).

Luego, con **decode_32bit_float** (), se decodifica cada variable binaria en un flotante de 32 bits, cada valor se guarda con el nombre correspondiente a la variable eléctrica.

Finalmente se van guardando los valores extraídos en las variables correspondientes, las cuales se usarán para la visualización y se almacenarán en la BD.

5.5 Almacenamiento

Para llevar a cabo la BD se usará MySQL, sistema de gestión de BD de código abierto.

La idea de este proyecto es realizar una BD en un PC, luego desde la Raspberry Pi ingresar los datos extraídos por el Smart Meter y tener acceso a ella desde cualquier otro dispositivo. Para llevar a cabo esa labor se deben instalar las herramientas de software necesarias para hacer uso de MySQL en el PC, se comenzara instalando XAMP SERVER, un servidor independiente de plataforma de código libre, que permite instalar de forma sencilla Apache sin importar el sistema operativo que se utilice, el cual incluye servidores de bases de datos como MySQL y SQLite con sus respectivos gestores phpMyAdmin y phpSQLiteAdmin, en este caso usaremos MySQL y por ende phpMyAdmin, también se hará uso del gestor de BD, MySQL Workbench, herramienta visual de gestión de BD en la cual se creara y modificara la BD a usar .

Para realizar la comunicación y visualización de la BD desde otro dispositivo es importante dar algunos permisos a Xamp, una vez ya dados los permisos necesarios se crea un usuario en MySQL, (representado en la BD con el símbolo %), este usuario al contrario de los usuarios localhost se podrá loguear desde cualquier dispositivo, para este proyecto ese usuario será Memoria.

Una vez ya realizado lo anterior se podrá acceder al gestor phpmyadmin desde cualquier dispositivo.

La conexión a la BD para un dispositivo que esté conectado a la misma red de internet en la cual está conectado el PC, se realiza ingresando la IP del PC en la barra de búsqueda de Internet, seguida por /phpMyAdmin, como se ve a continuación:

A screenshot of a web browser's address bar. The text "192.168.0.25/phpmyadmin/" is entered. To the left of the text is a circular icon containing a lowercase 'i', which typically represents an information or search function in web browsers.

Fig 5.7: Conexión phpMyadmin Red Local.

Se ingresa con la IP del PC debido que este será donde se crea, modifica y administra la BD a usar.

Por otro lado, la conexión de un dispositivo fuera de la red a la cual está conectado el PC, se realiza abriendo el puerto de MySQL tanto en el router como en el firewall, en este caso 3306, también se debe abrir el puerto 80 en el router, ambos puertos se re-direccionan a la IP del PC, una vez realizado lo anterior se puede acceder a la BD utilizando en este caso la IP pública, la cual se obtiene ingresando IP pública en el buscador, la conexión se hará igual como antes, como se observa a continuación:

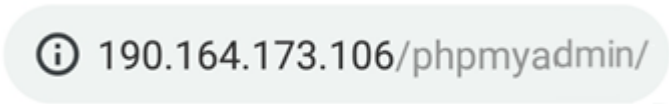


Fig 5.8: Conexión phpMyadmin Fuera de la Red.

Finalmente se comenzará a trabajar con la BD creada llamada SmartMeter_Francisca, a la cual se le ingresarán datos desde la Raspberry Pi, para poder realizar esta operación, se debe tener en cuenta que el usuario Memoria tenga los permisos totales sobre esta BD, una vez ya verificado lo anterior se comienza a hacer uso de SmartMeter_Francisca en la Raspberry Pi, así mediante Python se irán ingresando los valores extraídos desde el Smart Meter, para realizar dicha acción se usaron los siguientes comandos:

```
#Conexión a la Base de Datos

datos={
    'user': 'Memoria', #usuario
    'password': 'miranda', #contraseña dada al usuario anterior
    'database': 'SmartMeter_Francisca',

    'host': '192.168.43.xxx' # IP del PC
}

conexion=mysql.connector.connect(**datos) #Se conecta a la base de datos
```

A continuación, se ejemplifica el ingreso de los datos a la BD, para hacer más fácil la explicación solo se muestra el llenado de la tabla Corriente y solo se le agrega el valor i1, el cual corresponde al valor de corriente extraído del Smart Meter

```
cursor=conexion.cursor() #Creamos el cursor

valor="INSERT INTO Corriente(valor) VALUES (%s)" # valor es la variable creada en la
base de datos

cursor.execute(valor,(i1,)) #se le ingresa el valor i1

conexion.commit()

conexion.close() # se finaliza la conexión a la base de datos
```

Es importante mencionar que siempre que se quiera hacer uso de la BD, tanto como para visibilizarla, ingresar o extraer datos, se debe abrir XAMP y encender MySQL y APACHE, cuando ambas estén corriendo se podrá hacer uso de la BD.

5.6 Visualización

Para la visualización de los diferentes datos, se utilizó el programa Qt 4 Designer, IDE multiplataforma programado para el desarrollo de aplicaciones, el cual permite diseñar una interfaz gráfica y posteriormente a través de comandos en Python programar la interfaz ya diseñada. La interfaz creada en Qt Designer se utilizará en el mini computador y el PC Central.

- **Mini computador:** la visualización se realizará en tiempo real, mediante los datos que son extraídos por el Smart Meter.
- **Computador central:** la visualización se realizará con los datos obtenidos de la BD, a continuación, se mostrará cómo acceder a la BD y a cada tabla en ella, en el ejemplo se ingresará a los valores de corriente y se guardarán en una lista, la cual será utilizada para la gráfica.

```
datos = { 'user':'Memoria', #usuario
          'password':'miranda', #contraseña dada al usuario anterior
          'database':'SmartMeter_Francisca',
          'host':'192.168.43.xxx' # IP del PC }

conexion=mysql.connector.connect(**datos)

cur=conexion.cursor() #Creamos el cursor

cur.execute("SELECT * FROM corriente") #se le ingresa a la tabla corriente

corriente= []

for row in list(cur):

    corriente.append(row[0])
```

La interfaz creada para la visualización se muestra en la Fig 5.9, en donde se puede observar que posee 6 gráficas, de las cuales 5 son fijas y una, la de Energía Reactiva, posee la opción de escoger qué visualizar en dicha gráfica, si Energía Reactiva consumida o inyectada. Luego en la parte posterior de la interfaz hay 3 botones: Generar, Salir y Acerca de, el primero permite comenzar a graficar, el siguiente da la opción de salir de la interfaz y el tercero da información relevante sobre el programa. Ya en la última parte de la interfaz se observa un botón que permite escoger el color de fondo de la gráfica, entre negro o blanco según desee el usuario. Finalmente, se puede observar un BOX que permite variar el color de la gráfica en RGB entre valores que van de 0 a 255 en cada color.



Fig 5.9: Interfaz visualización.

Capítulo 6

Resultados

6.1 Introducción

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en este proyecto, verificando así la correcta implementación de éste.

Para mostrar los resultados de algunos apartados de este proyecto se realizaron distintas pruebas de medición con diferentes dispositivos consumidores de energía conectados al Smart Meter, a modo de ejemplificar las distintas pruebas, se mostrarán 3 pruebas con distintos dispositivos, las cuales se especifican a continuación:

Prueba 1: Lámpara

Prueba 2: Lámpara - Celular

Prueba3: Lámpara-Celular-Computador

6.2 Medición

A continuación, se observan imágenes de lo medido desde el Smart Meter en cada prueba mencionada anteriormente.

Prueba 1:



Fig 6.1: Medición Potencia, Voltaje y Corriente Prueba 1.



Fig 6.2: Medición Energía Activa Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 1.



Fig 6.3: Medición Energía Reactiva Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 1.

Prueba 2:



Fig 6.4: Medición Potencia, Voltaje y Corriente Prueba 2.

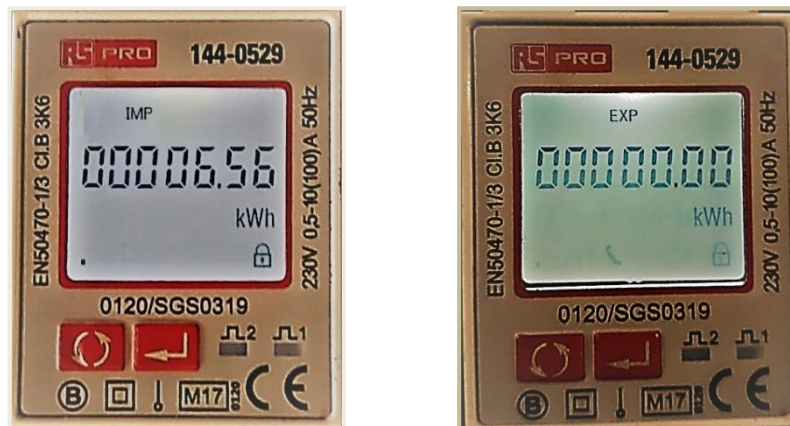


Fig 6.5: Medición Energía Activa Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 2.



Fig 6.6: Medición Energía Reactiva Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 2.

Prueba 3:



Fig 6.7: Medición Potencia, Voltaje y Corriente Prueba 3.



Fig 6.8: Medición Energía Activa Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 3.



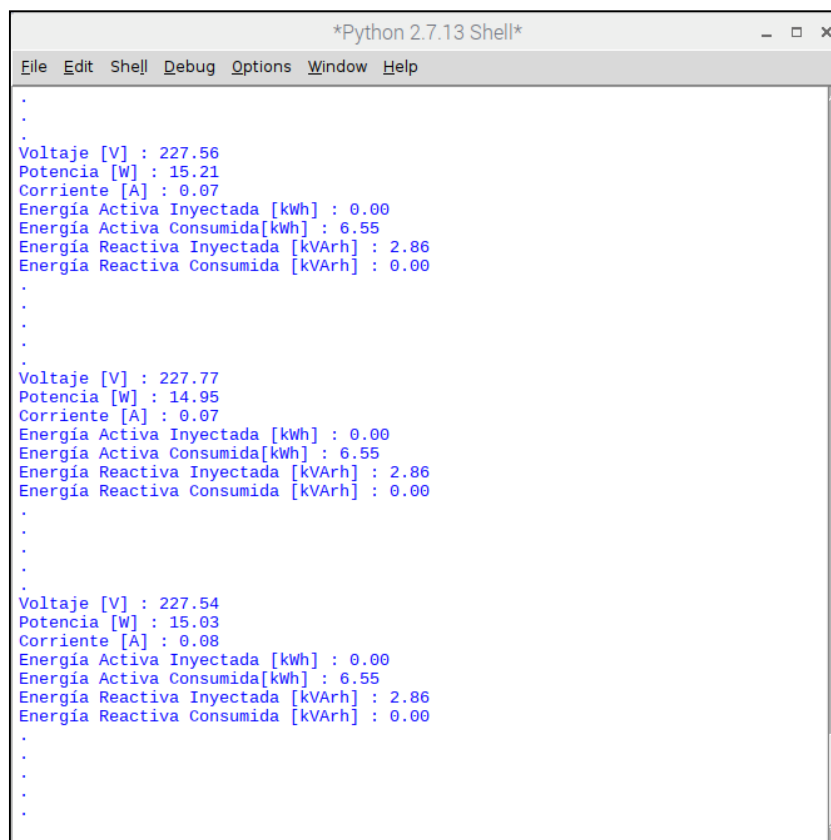
Fig 6.9: Medición Energía Reactiva Consumida (IMP) e Inyectada (EXP) Prueba 3.

6.3 Extracción

La extracción de datos se realizó en el mismo instante de tiempo en el cual se tomaron las imágenes de medición, por ende, podemos ver que son casi los mismos valores, la gran diferencia es la cantidad de decimales y la aproximación de estos.

A continuación, se mostrarán los datos extraídos en las 3 pruebas correspondientes.

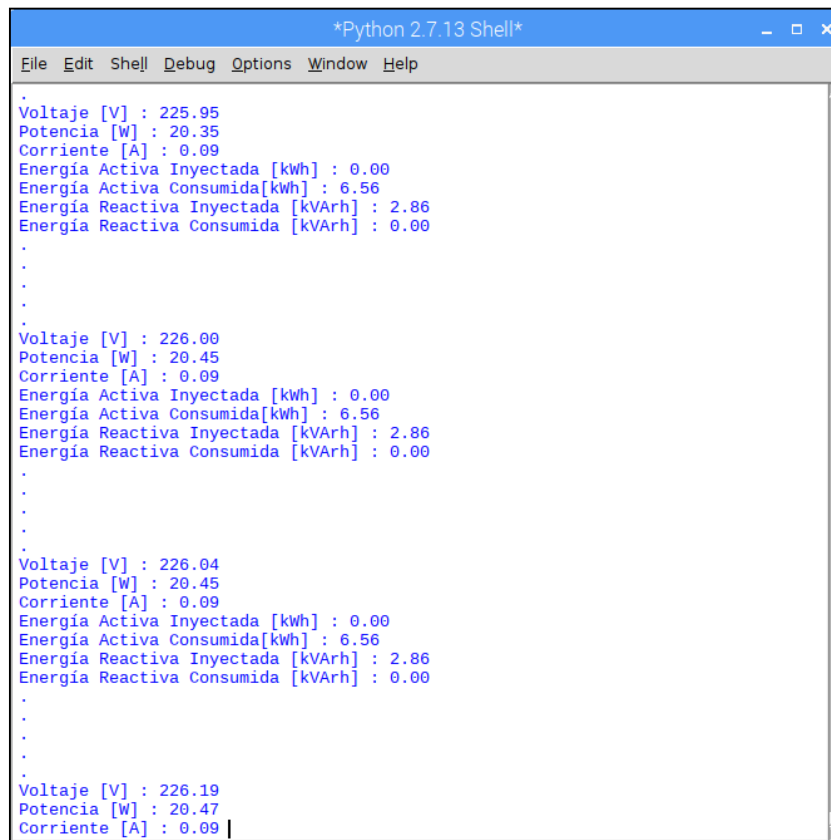
Prueba 1:



```
*Python 2.7.13 Shell*
File Edit Shell Debug Options Window Help
.
.
.
Voltaje [V] : 227.56
Potencia [W] : 15.21
Corriente [A] : 0.07
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.55
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 227.77
Potencia [W] : 14.95
Corriente [A] : 0.07
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.55
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 227.54
Potencia [W] : 15.03
Corriente [A] : 0.08
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.55
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
```

Fig. 6.10.: Extracción de datos Smart Meter mediante Software desarrollado Prueba 1.

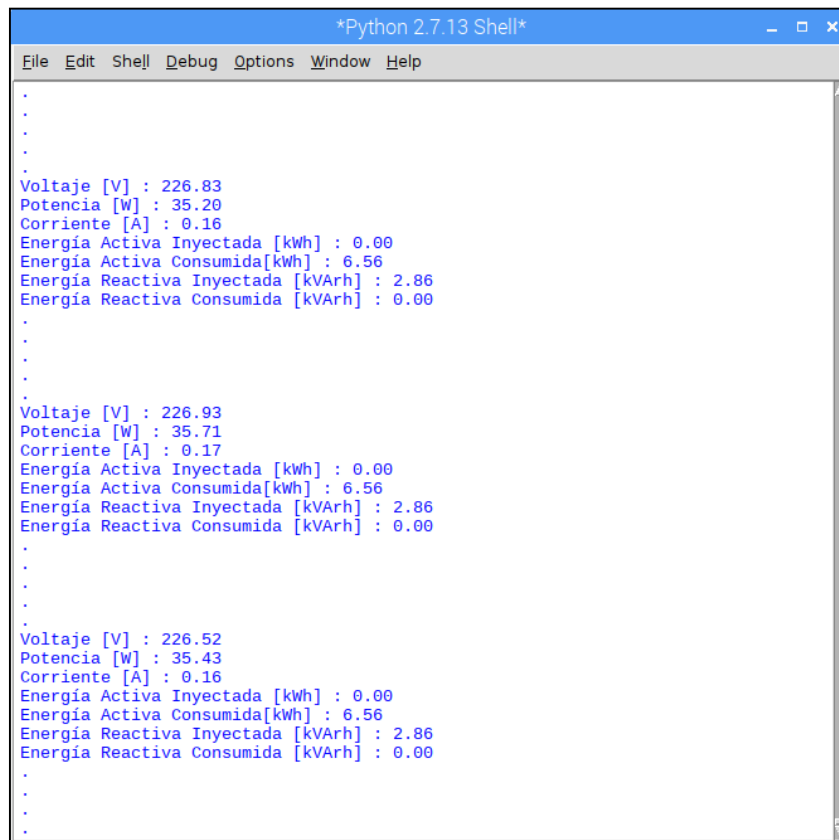
Prueba 2:



```
*Python 2.7.13 Shell*
File Edit Shell Debug Options Window Help
.
Voltaje [V] : 225.95
Potencia [W] : 20.35
Corriente [A] : 0.09
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.00
Potencia [W] : 20.45
Corriente [A] : 0.09
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.04
Potencia [W] : 20.45
Corriente [A] : 0.09
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVArh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVArh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.19
Potencia [W] : 20.47
Corriente [A] : 0.09 |
```

Fig. 6.11.: Extracción de datos Smart Meter mediante Software desarrollado Prueba 2.

Prueba 3:



```
*Python 2.7.13 Shell*
File Edit Shell Debug Options Window Help

.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.83
Potencia [W] : 35.20
Corriente [A] : 0.16
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVARh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVARh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.93
Potencia [W] : 35.71
Corriente [A] : 0.17
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVARh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVARh] : 0.00
.
.
.
.
.
Voltaje [V] : 226.52
Potencia [W] : 35.43
Corriente [A] : 0.16
Energía Activa Inyectada [kWh] : 0.00
Energía Activa Consumida[kWh] : 6.56
Energía Reactiva Inyectada [kVARh] : 2.86
Energía Reactiva Consumida [kVARh] : 0.00
.
.
.
.
```

Fig. 6.12.: Extracción de datos Smart Meter mediante Software desarrollado Prueba 3.

6.4 Almacenamiento

A continuación, se observa la BD desde el link a la página web mencionada anteriormente.

Al ingresar al link e ingresar a la BD SmartMeter_Francisca podemos observar las tablas creadas en ella.

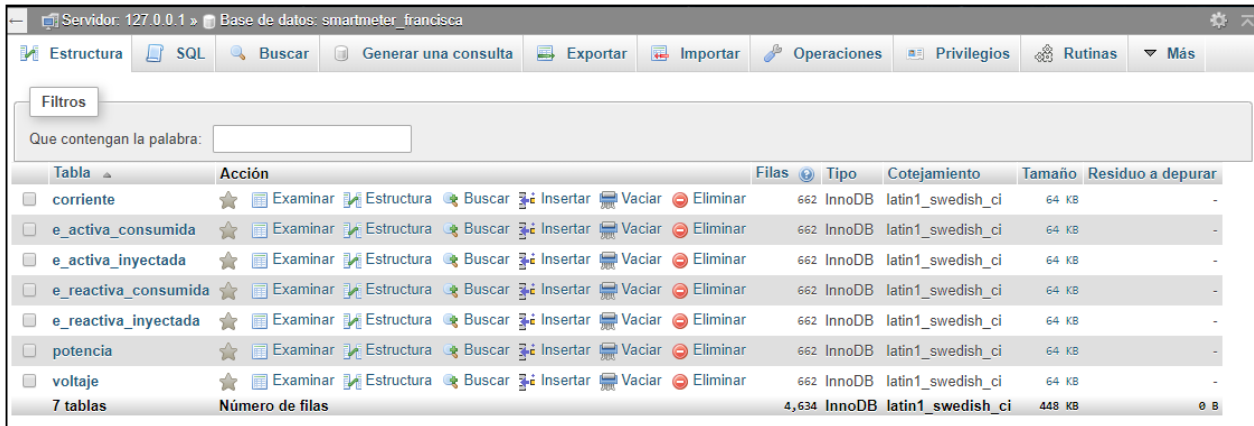


Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
corriente	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
e_activa_consumida	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
e_activa_inyectada	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
e_reactiva_consumida	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
e_reactiva_inyectada	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
potencia	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
voltaje	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	662	InnoDB	latin1_swedish_ci	64 KB	-
7 tablas	Número de filas	4,634	InnoDB	latin1_swedish_ci	448 KB	0 B

Fig. 6.13: Visualización BD SmartMeter_Francisca.

Luego, al ingresar a cada tabla se pueden ver los valores guardados en ellas, en las Fig 6.14 a 6.17 se observan las tablas y algunos valores guardados.

Valor	Unidad	Fecha_Hora
5.4830	[kWh]	2019/03/06_11:45:00
5.4830	[kWh]	2019/03/06_11:45:03
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:05
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:07
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:10
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:12
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:14
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:16
5.4840	[kWh]	2019/03/06_11:45:18

Valor	Unidad	Fecha_Hora
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:00
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:03
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:05
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:07
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:10
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:12
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:14
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:16
0.0000	[kWh]	2019/03/06_11:45:18

Fig 6.14: Almacenamiento E. Activa Consumida e Inyectada.

Valor	Unidad	Fecha_Hora
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:00
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:03
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:05
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:07
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:10
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:12
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:14
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:16
0.0000	[kVArh	2019/03/06_11:45:18

Valor	Unidad	Fecha_Hora
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:00
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:03
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:05
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:07
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:10
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:12
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:14
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:16
2.5790	[kVArh	2019/03/06_11:45:18

Fig 6.15: Almacenamiento E. Reactiva Consumida e Inyectada.

Valor	Unidad	Fecha_Hora
46.8294	[W]	2019/03/06_11:45:00
46.9503	[W]	2019/03/06_11:45:03
46.9160	[W]	2019/03/06_11:45:05
46.9879	[W]	2019/03/06_11:45:07
46.9518	[W]	2019/03/06_11:45:10
46.9129	[W]	2019/03/06_11:45:12
46.9848	[W]	2019/03/06_11:45:14
46.9745	[W]	2019/03/06_11:45:16
46.9805	[W]	2019/03/06_11:45:18

Valor	Unidad	Fecha_Hora
225.6726	[V]	2019/03/06_11:45:00
225.6169	[V]	2019/03/06_11:45:03
225.6767	[V]	2019/03/06_11:45:05
225.5363	[V]	2019/03/06_11:45:07
225.6744	[V]	2019/03/06_11:45:10
225.8176	[V]	2019/03/06_11:45:12
225.8261	[V]	2019/03/06_11:45:14
225.8682	[V]	2019/03/06_11:45:16
225.7982	[V]	2019/03/06_11:45:18

Fig 6.16: Almacenamiento Potencia y Voltaje.

Valor	Unidad	Fecha_Hora
0.2275	[A]	2019/03/06_11:45:00
0.2230	[A]	2019/03/06_11:45:03
0.2292	[A]	2019/03/06_11:45:05
0.2220	[A]	2019/03/06_11:45:07
0.2261	[A]	2019/03/06_11:45:10
0.2221	[A]	2019/03/06_11:45:12
0.2224	[A]	2019/03/06_11:45:14
0.2275	[A]	2019/03/06_11:45:16
0.2269	[A]	2019/03/06_11:45:18

Fig 6.17.: Almacenamiento Corriente

6.5 Visualización

A continuación, se mostrarán gráficas, en donde se podrá observar el comportamiento de las diferentes variables eléctricas que son posibles visualizar.

Primero se observarán las gráficas desde la Interfaz QT Designer para las 3 pruebas correspondientes, como se utilizó la misma interfaz para el PC Central y la Raspberry Pi, se mostrarán graficas de resultados que ejemplifican el comportamiento de ambos. Cabe mencionar que visualizaremos las gráficas con la opción Energía Reactiva Inyectada.

Prueba 1:

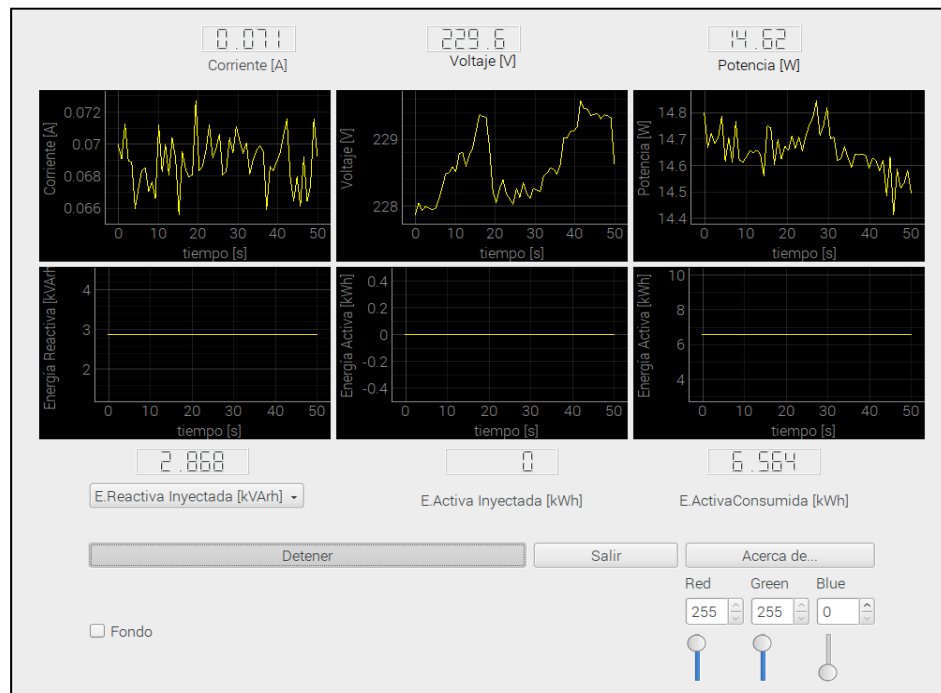


Fig 6.18: Visualización mediante Interfaz Prueba 1.

Prueba 2:

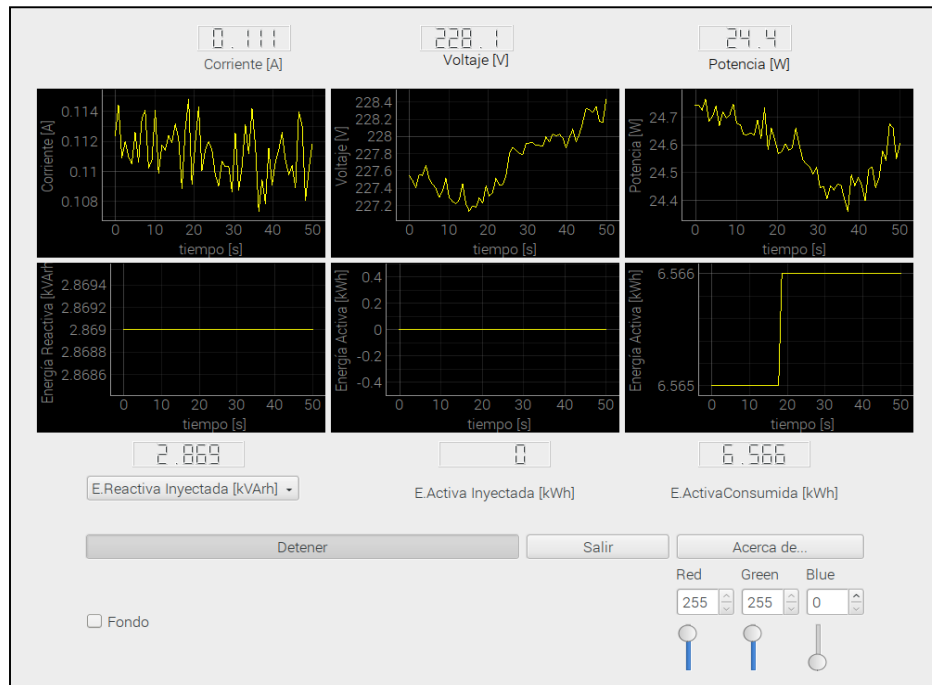


Fig 6.19: Visualización mediante Interfaz Prueba 2.

Prueba 3:

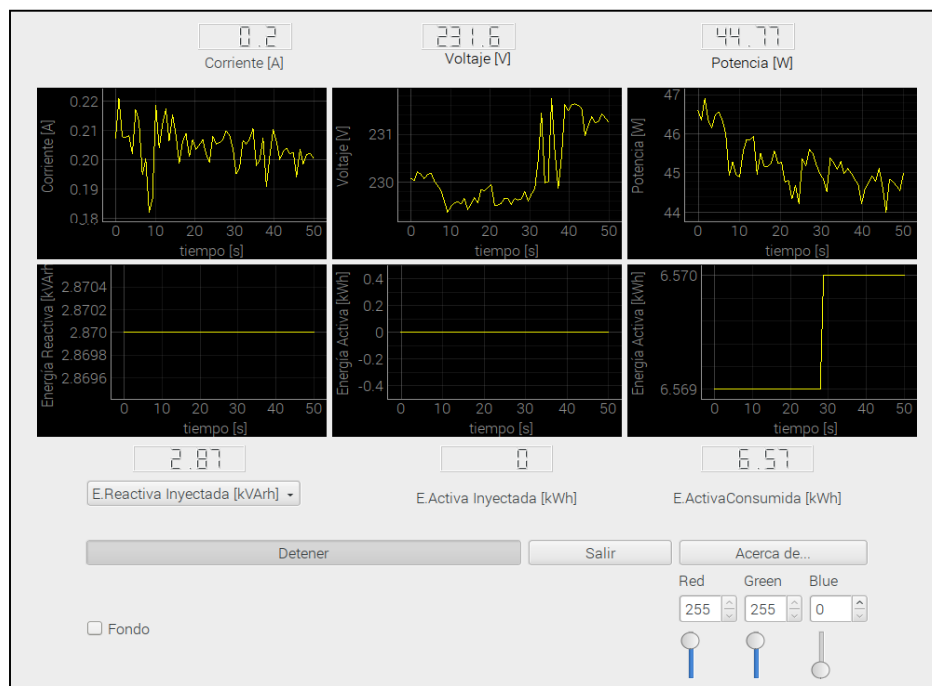


Fig 6.20: Visualización mediante Interfaz Prueba 3.

La figura 6.21 permite observar el comportamiento del gráfico con la opción Energía Reactiva Consumida. También, se puede observar el funcionamiento de las herramientas visuales, variando el color de fondo y gráficas.

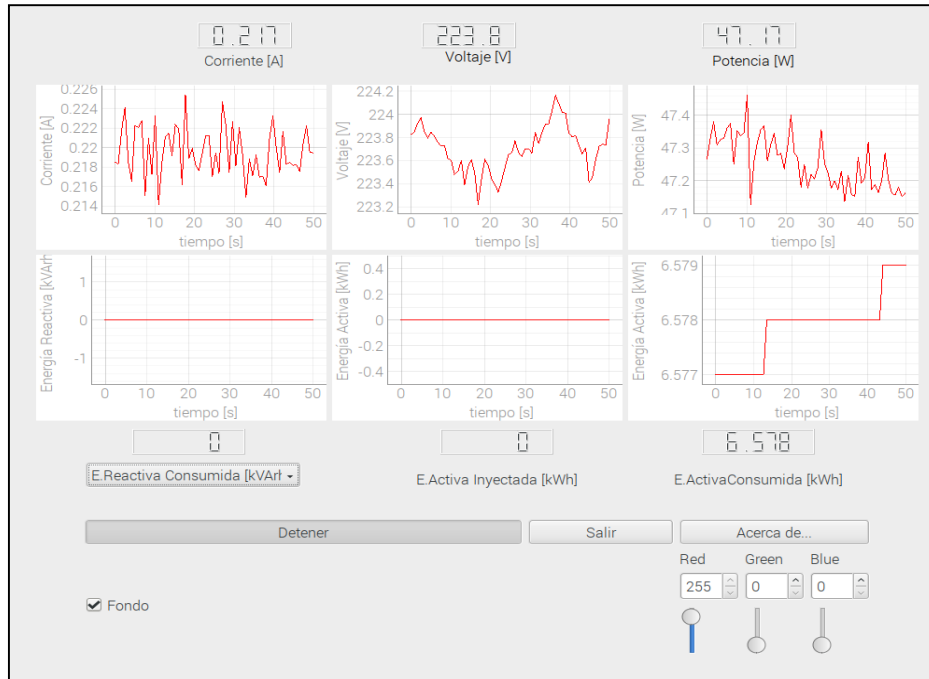


Fig 6.21: Visualización con Energía reactiva consumida y uso de herramientas visuales, mediante Interfaz.

A continuación, en las figuras 6.22 y 6.23 se muestra cómo funcionan las opciones Salir y Acerca de, respectivamente.



Fig 6.22: Visualización, opción Salir.

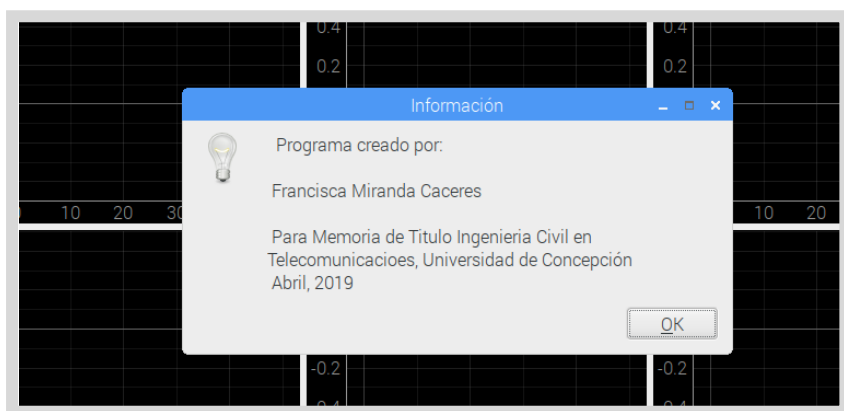


Fig 6.23: Visualización, opción Acerca de.

Finalmente, se observa la visualización de cada variable eléctrica almacenada en la BD, mediante la gráfica que la página WEB permite.

Cabe mencionar que a modo de ejemplificar las gráficas obtenidas solo se mostraran 4 de las 7 variables de la BD.

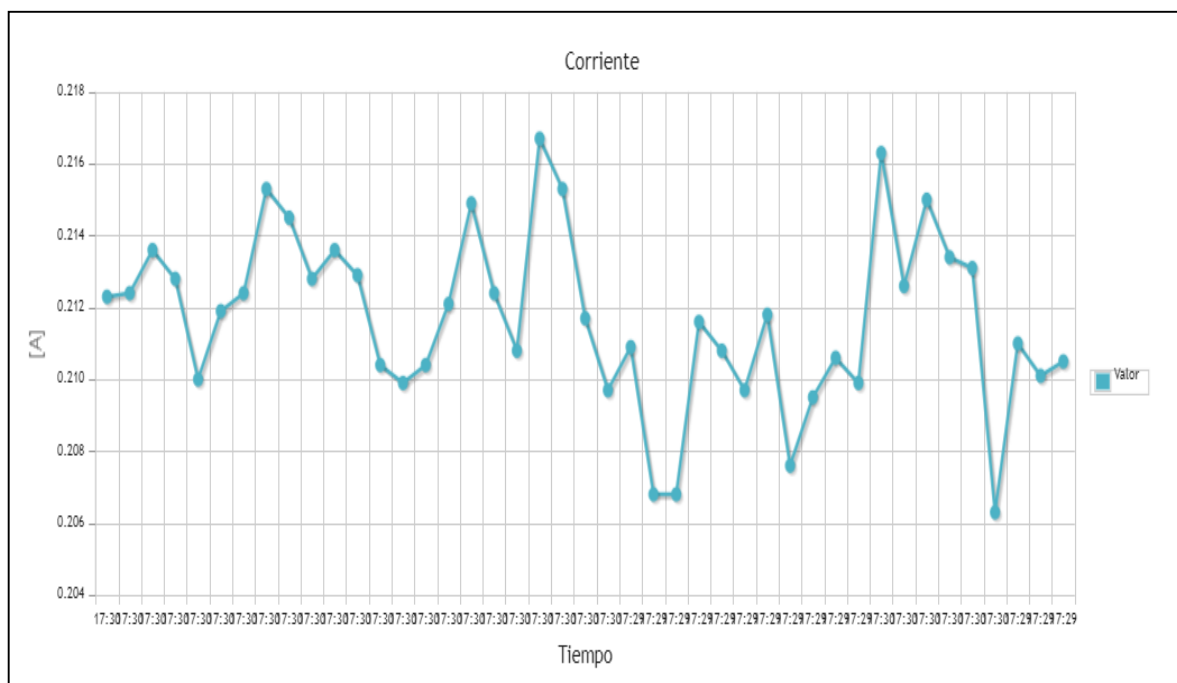


Fig 6.24: Visualización Corriente mediante Plataforma WEB.

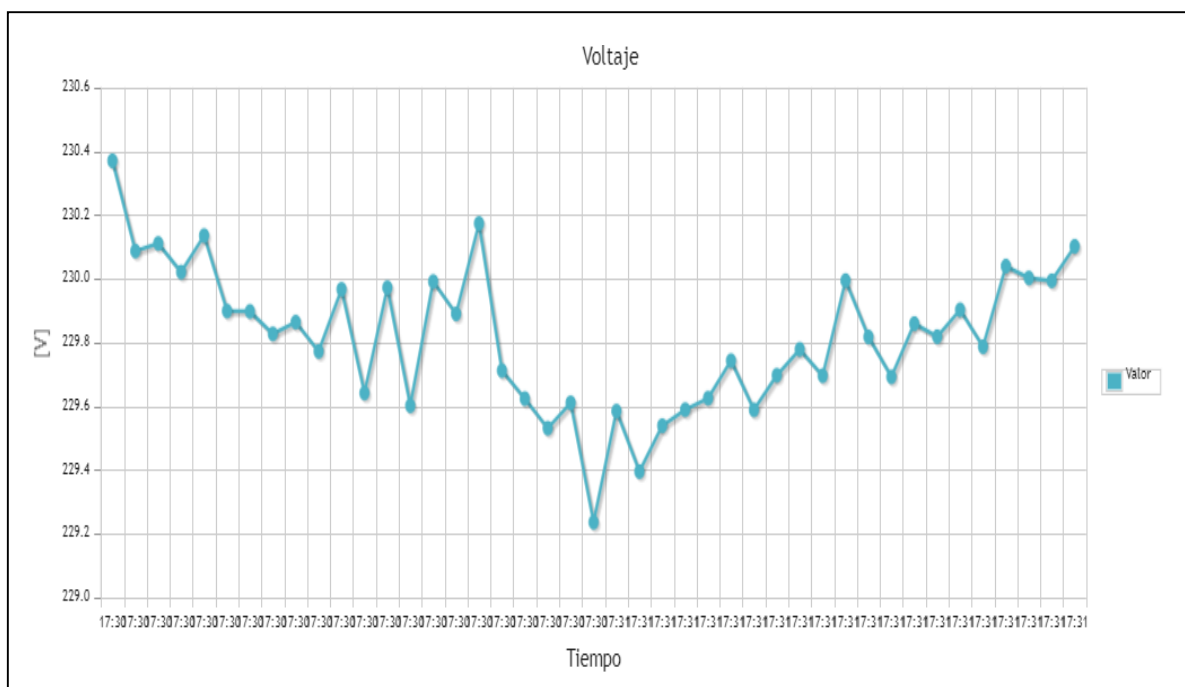


Fig 6.25: Visualización Voltaje mediante Plataforma WEB.

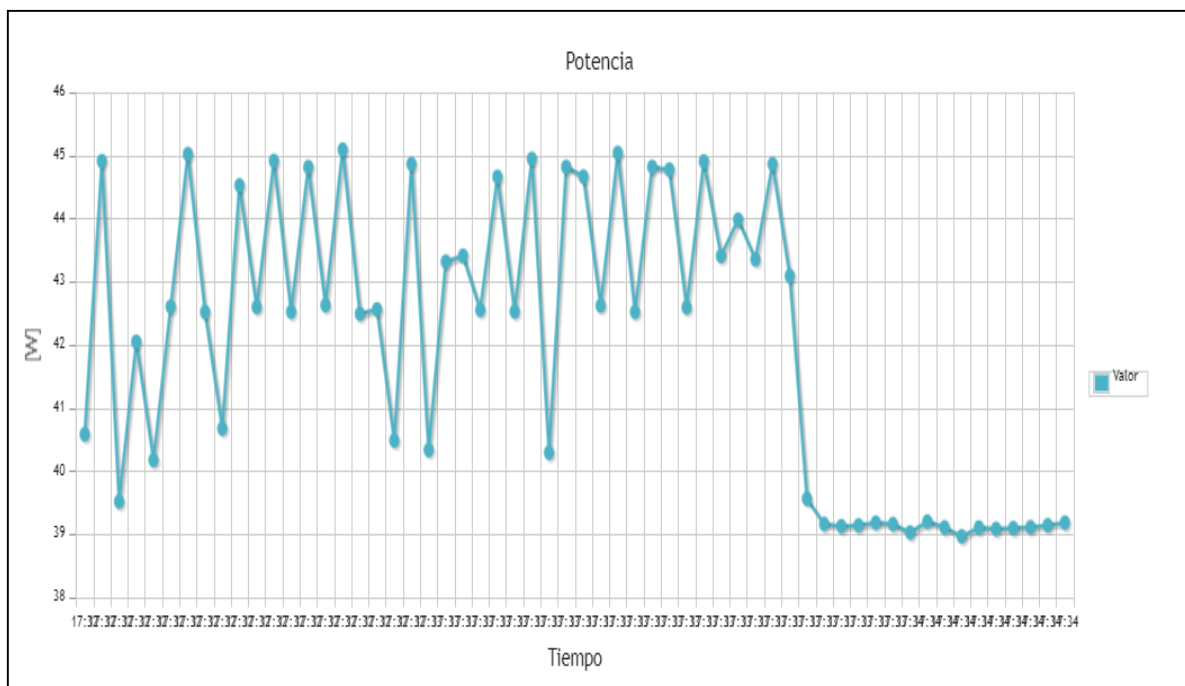


Fig 6.26: Visualización Potencia mediante Plataforma WEB.

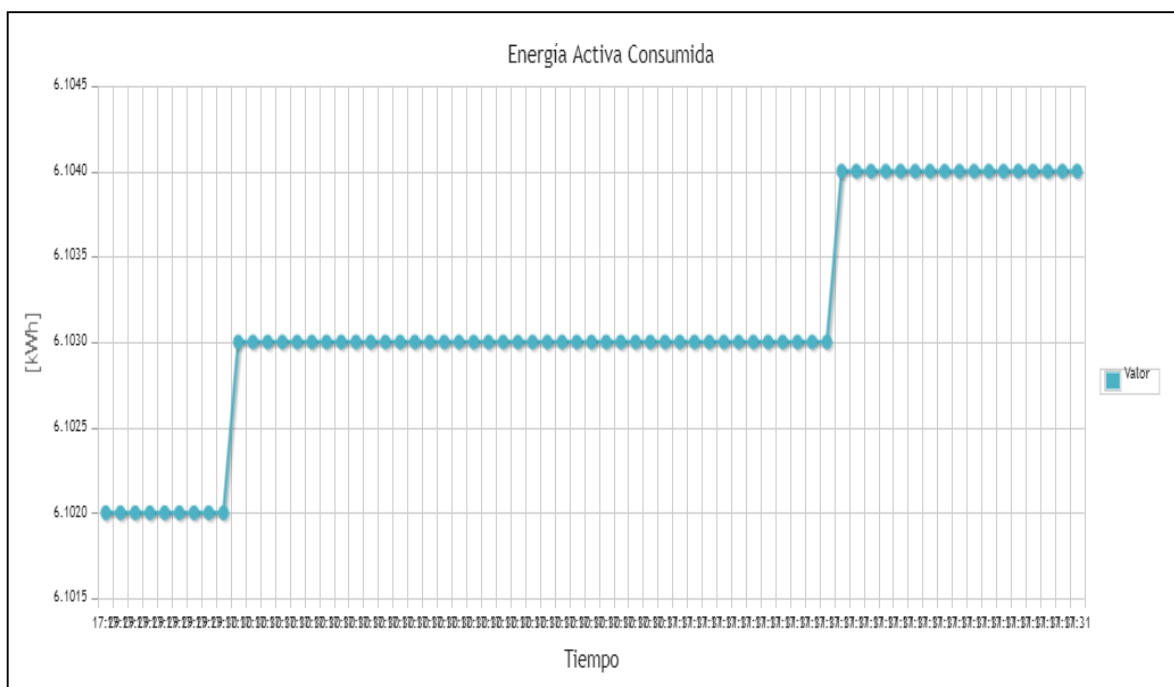


Fig 6.27: Visualización Energía Activa Consumida mediante Plataforma WEB.

Capítulo 7

Conclusión y Trabajo Futuro

7.1 Conclusión

En este trabajo se realizó la implementación de un sistema de medición, extracción, visualización y almacenamiento de datos provenientes de un Smart Meter, de esta forma se hace uso de estas nuevas tecnologías, mediante dispositivos al alcance de un estudiante.

Por otro lado, se muestra cómo operan las Smart Grid, sus avances y diferencias en cuanto a la actual red energética del país y los beneficios que estas traerán a largo plazo tanto al usuario como a la empresa, dándole más valor al usuario y poniéndolo como un ente productor y capaz de tener control y conocimientos total de su consumo, para así tomar decisiones más informadas que puedan generar mayor eficiencia energética.

El medio Ambiente también se convierte en un gran beneficiado con estas tecnologías, debido a que permiten la bi-inyección de energía, logrando así una total integración entre fuentes de energías convencionales y las energías renovables

Se concluye que las Smart Grid se están transformando en una realidad en nuestro país, por lo que el estudio del funcionamiento y beneficios de estas nuevas tecnologías es muy importante en la actualidad y una gran oportunidad para el área de las Telecomunicaciones.

7.2 Trabajo Futuro

- Conexión de múltiples Smart Meter a una Raspberry Pi, simulando así, el funcionamiento de un concentrador comercial.
- Contrastación de características, especificaciones técnicas y protocolos de comunicación de diferentes modelos de Smart Meter.
- Proyecto que de acceso al usuario a conocer el consumo de cada habitación de su hogar de la misma manera que con el hogar completo, pudiendo saber así, si dejó algo enchufado o si hay algún consumo inusual, entre otros diversos usos que se puede ir dando al beneficio del consumidor y transformándose en un ente cada vez más informado y empoderado en su consumo.
- Análisis y uso de los datos obtenidos a partir del Smart Meter, realización de diferentes estudios de consumo u aplicaciones beneficiosas para el usuario.
- Cuidado y protección de los datos, mediante ciberseguridad.

Capítulo 8

Bibliografía

- [1] Agencia Internacional de la Energía. Disponible en: www.iea.org
- [2] Anner Jhoan Pellicer Navarro, “Aspectos Fundamentales de una Infraestructura Avanzada de Medición de Energía Eléctrica en Venezuela”, noviembre 2016, Sartenejas.
- [3] Aritz Legarrea Oyarzun, Javier Marcos Álvarez, “Monitorización el consumo eléctrico de un hogar: procesado de dato mediante Raspberry Pi”, junio 2015, Pamplona.
- [4] Biblioteca del congreso Nacional. Disponible en: www.leychile.cl
- [5] Comisión Nacional de Energía. Disponible en: www.cne.cl
- [6] CertSi, Gobierno de España, Febrero 2017, Guía de Seguridad en Protocolos Industriales Smart Grid.
- [7] CITCEA-UPC (Universidad Técnica de Catalunya), “Smart Grids: Sectores y actividades clave”, Informe Estratégico de la fundación para la sostenibilidad energética y ambiental.
- [8] CNE, “Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución”, Diciembre 2017, Santiago de Chile.
- [9] Condensa. Medición Inteligente. Disponible en: www.codensa.com.
- [10] DIGI, Smart Energy Gateway User Guide, Itron ERT. Disponible en: www.digi.com

- [11] Energies, Noelia Uribe-Pérez , Itziar Angulo, David de la Vega, TxetxuArzuaga, Igor Fernández, AmaiaArrinda, 2017, “Smart Grid Applications for a Practical Implementation of IP over Narrowband Power Line Communications”.
- [12] Esteban Mauricio Inga Ortega, INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología, “Redes de Comunicación en Smart Grid”.
- [13] ENEL Distribución Chile. Disponible en: www.enerdistribucion.cl
- [14] Energía Abierta. Disponible en: www.energiaabierta.cl
- [15] Francisco Casellas, Guillermo Velasco, Francesc Guimjoan y Robert Pique, “El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica”, Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona.
- [16] Fraunhofer Chile Research, Fraunhofer Fokus-Innocity (2014), Proyecto Innova Chile - CORFO, “Investigación, Desarrollo y Aplicación de redes inteligentes de energía (Smart Grid): Proyecto Smart City Santiago”.
- [17] Generadoras de Chile. Link: www.generadoras.cl
- [18] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, División de Energías Renovables, “Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571)”, Mayo 2017.
- [19] GTD Ingenieros consultores, “Estudio de medidores inteligentes y su impacto en tarifas”, Diciembre 2016.
- [20] IRENA, International Renewable Energy Agency, “Smart Grids and Renewables”, Noviembre 2013.
- [21] Javier Cabeza López-Vázquez, “Estudio de la situación actual de Smart Grids”, Septiembre 2016, España.

- [22] Marcos Ponce-Jara, Milton Moreano Alvarado Alep Acebo Arcentales, “Las redes eléctricas inteligentes y su importancia para mitigar los alcances de los desastres naturales”, Julio 2017.
- [23] National Instruments. Link: www.ni.com
- [24] Sanjay, “PyModbus Documentation”, Octubre 2018.
- [25] Sebastián Andrés Apablaza Benavides, “Sistema centralizado de recolección automática de consumo de servicios básicos con acceso vía web”, Mayo 2016.
- [26] SENER, Secretaria de Energía México, “Programa de Redes Eléctricas Inteligentes”, Mayo 2016, México.
- [27] Patricia del Rio, “Estandarización de las Smart Grids”.
- [28] Pep Salas Prat, “Smart Grids: una oportunidad más allá de la tecnología”.
- [29] U.S Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, “Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems”, Septiembre 2016.
- [30] Victor Hugo Serna, “Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC”, Marzo 2011.