

**INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA
RESIDENCIAL**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: Ingeniero Eléctrico

**TEMA:
INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA
ELÉCTRICA RESIDENCIAL**

**AUTOR:
MILTON GONZALO RUIZ MALDONADO**

**DIRECTOR:
MARCELO GARCÍA**

Quito, Marzo del 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Milton Gonzalo Ruiz Maldonado autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 4 de Marzo del 2014

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado
CC: 1714409065

AUTOR

CERTIFICA

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la monografía, así como el funcionamiento de “INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL” realizada por el Ing. Milton Gonzalo Ruiz Maldonado, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 4 de Marzo del 2015

Ing. Edwin Marcelo García Torres
DIRECTOR

DEDICATORIA.

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado

*Es propio de los seres sensibles
expresar su gratitud y amor, a quienes hicieron
posible culminar con este hermoso sueño. Especialmente
a Dios por darme la fortaleza en los momentos difíciles, a mi madre
Leonor por su apoyo incondicional, a mi amada esposa
Andrea, a mis hijos Martín y Mia, a mi familia y
amigos por ser luz y timón de hoy,
y siempre.*

AGRADECIMIENTO.

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado

*La ciencia y la tecnología puesta
al servicio de la humanidad, impulsa el
desarrollo del mundo. Gracias maestros y
maestras de la Universidad Politécnica Salesiana
por verter en mí, sus conocimientos. Unas gracias
efusivas y eternas para los ingenieros Marcelo García,
Juan Domínguez, Esteban Inga por su invaluable
colaboración en todos los momentos del
estudio y su apoyo en mi formación
integral como profesional.*

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	I
CERTIFICA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INDICE GENERAL.....	V
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE ANEXOS	VII
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
I. CARACTERIZACIÓN DE MEDIDORES ELÉCTRICOS INTELIGENTES.....	2
1.1 Análisis de casos de éxito a nivel mundial	2
1.2 Características de los medidores eléctricos inteligentes.....	5
1.3 Análisis de los servicios ofertados a los consumidores residenciales.....	11
1.4 Selección de medidores inteligentes para el sector eléctrico residencial.....	12
CAPÍTULO II.....	13
II. INFRAESTRUCTURA Y NORMATIVA	13
2.1 Infraestructura necesaria para la medición inteligente.....	13
2.2 Normativa aplicada a la interoperabilidad entre medidores inteligentes.....	16
2.3 Protocolos de comunicación para medidores eléctricos inteligentes.....	23
CAPÍTULO III.....	37
III. COMUNICACIÓN ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES	37
3.1 Análisis de los medios para comunicación entre los medidores inteligentes	37
3.2 Adquisición de datos de los medidores de energía eléctrica.....	39
3.3 Comunicación entre medidores inteligentes de diferentes marcas	47
3.4 Desarrollo de software aplicado a la interoperabilidad	49
CAPÍTULO IV	60
IV. ANÁLISIS ECONÓMICO Y LEGAL	60
4.1 Determinación de protocolos de comunicación con mayor rentabilidad.....	60
4.2 Análisis de factibilidad técnica	61
4.3 Análisis económico.....	62
4.4 Análisis legal.....	68
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Evolución de la medición inteligente	3
Figura I.2 Visión global de medición inteligente	5
Figura II.1 Arquitecturas típicas de redes en sistemas AMI.	14
Figura II.2 Comunicaciones para medición inteligente	16
Figura II.3 Modelo OSI y GWAC con sus respectivas funciones	18
Figura II.4 Capas de comunicación del modelo IEC62056.	22
Figura II.5 Tecnologías de comunicación para redes locales	24
Figura II.6 Tiempo de ida y vuelta para la transmisión de pequeños paquetes de datos.....	32
Figura III.1 Análisis de uso del espectro electromagnético medidor ELSTER.	39
Figura III.2 Pico de potencia medidor Elster.	40
Figura III.3 Análisis de uso del espectro electromagnético medidor Itron.	41
Figura III.4 Interior del medidor Elster	42
Figura III.5 Parte interna medidor General Electric	42
Figura III.6 Toma de datos medidor General Electric.....	43
Figura III.7 General Electric vs Fluke	44
Figura III.8 Parte interna medidor Itron	45
Figura III.9 Toma de datos medidor Itron	45
Figura III.10 Itron vs Fluke.....	46
Figura III.11 Diagrama de comunicación entre medidor y concentrador.	48
Figura III.12 Arduino mega 2560 y Shiel GSM 900.....	49
Figura III.13 Configuración parámetros comunicación serial.	50
Figura III.14 Consulta de potencia y energía	51
Figura III.15 Recepción de potencia y energía	52
Figura III.16 Panel frontal Labview	53
Figura III.17 Lecturas Arduino vs Fluke 43B	55
Figura III.18 Lectura Fluke 43B	56
Figura III.19 Visualización de lecturas en el computador	57
Figura III.20 Recepción de SMS con la medición	58
Figura III.21 Forma de onda que entrega el TC.	58
Figura III.22 Maqueta para medición inteligente	59

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Fabricantes de medidores eléctricos y tipos de comunicación	6
Tabla I.2 Landys+Gyr características de medidores y concentradores	7
Tabla I.3 Itron características de medidores.	8
Tabla I.4 Itron características de concentradores.	8
Tabla I.5 Elster características de medidores.....	9
Tabla I.6 Elster características de concentradores.	9
Tabla I.7 Echelon características de medidores.	10
Tabla I.8 Echelon características de concentradores.	10
Tabla I.9 Servicios ofertados por las empresas eléctricas ecuatorianas.	12
Tabla I.10 Medidores eléctricos residenciales con GSM.....	12
Tabla II.1 Tecnologías usadas en Smart grid	23
Tabla II.2 Comparación de las tecnologías de comunicación para medición inteligente.	31
Tabla II.3 Evolución celular	31
Tabla III.1 Medidores donados a la UPSQ.....	39
Tabla III.2 Resumen radio frecuencia medidores Itron y Elster.	41
Tabla III.3 Medidas realizadas por Fluke 43B y Arduino mega 2560.....	43
Tabla III.4 Voltaje AC y DC emitida por el medidor General Electric	44

Tabla III.5 <i>Valor digital de potencia</i>	45
Tabla III.6 <i>Medidas realizadas por Fluke 43B y Arduino mega 2560</i>	46
Tabla III.7 <i>Voltaje AC y DC emitida por el medidor Itron</i>	47
Tabla III.8 <i>Valor digital de potencia</i>	47
Tabla III.9 <i>Bits enviados por cada SMS</i>	55
Tabla III.10 <i>Bits enviados por periodo de tiempo</i>	55
Tabla IV.1 <i>Costo anual por SMS para medición inteligente</i>	64
Tabla IV.2 <i>Ingresos por medición inteligente</i>	65
Tabla IV.3 <i>Egresos medición inteligente</i>	66
Tabla IV.4 <i>Flujo efectivo producto de la medición inteligente</i>	67
Tabla IV.5 <i>Ingresos y egresos actualizados al presente</i>	67
Tabla IV.7 <i>Indicadores de factibilidad financiera</i>	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo A1 – <i>Programa de medición inteligente para Arduino</i>	80
Anexo A2 – <i>Programa de medición inteligente Labview</i>	88

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AMI: Advanced Metering Infrastructure, Infraestructura de medición avanzada.

AMM: Advanced Metering Management, Gestión de medición avanzada.

AMR: Automatic Meter Reading, Lectura automática de medidores.

ANSI: American National Standards Institute, Instituto nacional americano de estándares.

BPL: Broadband Over Power Line Communications, Comunicaciones de banda ancha por línea eléctrica.

bps: Bits por segundo

BS: Base Station, Estación base.

CDMA: Code Division Multiple Access, Acceso múltiple por división de código.

CIS: Customer Information System, Sistema de información del consumidor.

DSL: Digital Subscriber Line, línea de abonado digital.

EMS: Energy Management System, Sistema de gestión de energía.

FAN: Field Area Network, Red de área de campo.

GPRS: General Packet Radio Service, Servicio general de paquetes vía radio.

GSM: Global System for Mobile, Sistema global para comunicaciones móviles.

HAN: Home Area Network, Red de área de hogar.

HEMS: Home Energy Management System, Sistema de gestión de energía en el hogar.

HSPA: High Speed Packed Access, Acceso a paquetes de alta velocidad.

IAN: Industrial Area Network, Red de área industrial.

IEC: International Electrotechnical Commission, Comisión electrotécnica Internacional.

IED: Intelligent Electronic Device, Dispositivo electrónico inteligente.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de ingenieros eléctricos electrónicos.

IP: Internet Protocol, Protocolo de internet.

kWh: kilo vatio hora.

LAN: Local Area Network, Red de área local.

LTE: Long Term Evolution, Evolución a largo plazo.

MAN: Metropolitan Area Network, Red de área metropolitana.

MS: Movil Station, Estación móvil.

MSC: Mobile Switching Center, Centro de conmutación móvil.

NAN: Neighborhood Area Network, Red de área vecina.

OSI: Open System Interconnection, Interconexión de sistemas abiertos.

PLC: Power Line Communications, Comunicaciones a través del cableado eléctrico.

PSTN: Public Switched Telephone Network, Ted telefónica pública conmutada.

RF: Radiofrecuencia.

RFID: Radio Frequency IDentification, Identificador de radio frecuencia.

SG: Smart Grid, Red inteligente.

SM: Smart Meter, Medidor inteligente.

SMS: Short Message Service, Servicio de mensajes cortos.

TC: Transformador de corriente.

TCP: Transmission Control Protocol, Protocolo de control de transmisión.

TIR: Tasa interna de retorno.

UDP: User Datagram Protocol, Protocolo de datagramas de usuario.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Sistema universal de telecomunicaciones móviles.

UPB: Universal Power Bus, Bus de poder universal.

VAN: Valor actual neto.

WAN: Wide Area Network, Red de área amplia.

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad mundial para acceso por microondas.

RESUMEN

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado
mruizm@ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana

El presente proyecto brinda un análisis teórico y práctico sobre la adquisición y envío de datos desde los medidores eléctricos inteligentes por medio de mensajes de texto o SMS al concentrador. El problema a resolver es la propiedad que presenta cada fabricante sobre sus equipos, es decir los medidores o concentradores General Electric, Itron, Elster, etc. no permiten interoperar con otros medidores o concentradores de distinto fabricante. Para resolver el problema se toman las señales de los TCs de cada medidor, las señales son digitalizadas y almacenadas permitiendo el intercambio de información sin importar el software o hardware propietario de cualquier equipo de medición de energía. Se detalla la evolución de la medición de energía eléctrica desde los primeros medidores electro-mecánicos hasta los medidores inteligentes. Se describe el estado del arte de la medición eléctrica al igual que las características técnicas de medidores y concentradores que se encuentran en el mercado. Se analizan los beneficios de las telecomunicaciones tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores. Se puntualiza en la infraestructura necesaria para medición inteligente indicando los tipos de redes de datos que se involucran en las comunicaciones al igual que las tecnologías que son utilizadas en los medios de transmisión tomando en consideración protocolos y normativas que permiten la transmisión de información entre medidores eléctricos inteligentes y concentradores. Por último se detalla la tecnología de mayor rentabilidad para la medición inteligente analizando la factibilidad técnica de implementar un módulo adicional a los medidores ya instalados de los abonados. Se realiza el análisis económico para obtener los indicadores de factibilidad que permiten la toma de decisiones sobre inversión del proyecto de medición inteligente vía mensajes de texto o SMS.

ABSTRACT

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado
mruizm@ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana

This paper gives a theoretical analysis and practical of the acquisition and sending data from smart meters through text messages or SMS to concentrator. The problem to solve is the property presented by each manufacturer on their devices, for example meters or concentrators General Electric, Itron, Elster, cannot communicate with other meters or hub of different manufacturer. To solve the problem should be take signals CTs of each meter, the signals are digitized and stored allowing the exchange of information regardless of the software or hardware owner of any energy measurement equipment. The evolution of the electric energy measurement is detailed from the first electro-mechanical meters to smart meters. The state of art of the electrical measurement is described as technical characteristics of meters and concentrators that are in the market features. The benefits of telecommunications for utilities and consumers are analyzed. This project shows the types of networks data that are involved in communications as technologies that are used in the transmission means considering protocols and regulations that allow the transmission of information between smart meters and concentrators

Finally detailed the technology most profitable for the intelligent measurement, it analyzing of the technical feasibility for implementing an additional module to the already installed meters.

Key words—Smart grid, Smart Metering, Smart homes, Energy consumption, Energy efficiency, Power control, Power engineering and Energy, Power engineering computing, Relays, Throughput, Wireless sensor networks.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo los sistemas eléctricos se encuentran en constante evolución permitiendo la formación de redes eléctricas inteligentes que brindan altos niveles de disponibilidad, eficiencia, confiabilidad y sobre todo ambientalmente sostenibles permitiendo el desarrollo productivo y mejorando la calidad de vida de la población.

Ecuador a través de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, ha creado el Plan Nacional Para El Buen Vivir, en el que consta el cambio de la matriz energética. Como principal componente de la nueva matriz energética es el incremento de la participación de energías renovables ejecutando obras hidro-eléctricas[1]de gran envergadura como Coca-Codo-Sinclair, Sopladora, Minas-San Francisco, Delsintanisagua, Manduriacu, Mazar-Dudas, Toachi-Pilatón y Quijos. Se espera que para el año 2016 entren en operación los ocho proyectos, suministrado más del 90% de energía hidro-eléctrica[2].

Con este antecedente la Universidad Politécnica Salesiana siendo una institución educativa y de investigación se ve involucrada y comprometida en buscar procesos que permitan optimizar el uso de los nuevos recursos energéticos ya que son bienes costosos y escasos. Lo que se busca con la presente investigación es dar un paso hacia la infraestructura de medición avanzada conocida como AMI en la cual existe la vinculación de las tecnologías de comunicación permitiendo un flujo de información bidireccional entre el abonado y la empresa distribuidora brindando nuevos servicios a los usuarios, reduciendo tiempo en la toma lecturas, cortes-reconexiones, lo que se traduce en un ahorro de recursos económicos tanto para los usuarios como para las empresas eléctricas.

CAPÍTULO I

I. CARACTERIZACIÓN DE MEDIDORES ELÉCTRICOS INTELIGENTES

El presente capítulo describe la evolución de la medición de energía eléctrica desde los primeros medidores electro-mecánicos hasta los medidores inteligentes. Se detalla el estado del arte de la medición eléctrica a nivel local, nacional e internacional al igual que las características técnicas de medidores y concentradores que se encuentran en el mercado. Se describe los beneficios proporcionados al usar telecomunicación tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores. Finalmente se seleccionan medidores de diferentes marcas que permitan comunicación inalámbrica celular.

1.1 Análisis de casos de éxito a nivel mundial

El cambio de visión de la medición de energía eléctrica se realiza desde el año de 1970 con la incorporación del envío de datos, la comunicación en los años 70 era unidireccional, en una sola vía, desde el usuario hasta la empresa distribuidora. La primera etapa fue la medición AMR (Automatic Meter Reading) y duró alrededor de 30 años dando paso a la evolución, llamada medición inteligente o smart Metering. Smart metering requiere un alto grado de telecomunicaciones en ambas vías usuario – empresa distribuidora. La meta para el 2020 es llegar a una medición inteligente avanzada, incorporando a toda la red eléctrica dispositivos con la capacidad de operar por medio de telecomunicaciones, permitiendo equilibrar la generación de energía eléctrica al consumo real, por medio de los datos enviados por todos los medidores inteligentes.

La medición inteligente es parte de las redes eléctricas inteligentes integrando redes eléctricas, distribución, generación, almacenamiento, consumo monitoreado y controlado por medio de redes de telecomunicaciones optimizando los procesos obteniendo beneficios y rentabilidad en el mercado eléctrico.

La figura I.1 muestra la evolución en la medición, desde los ineficientes medidores electro-mecánicos en la década de los años 70's, pasando por AMR que brinda comunicación en una vía en los 80's y proponiendo metas para el 2020 con

medición inteligente avanzada.

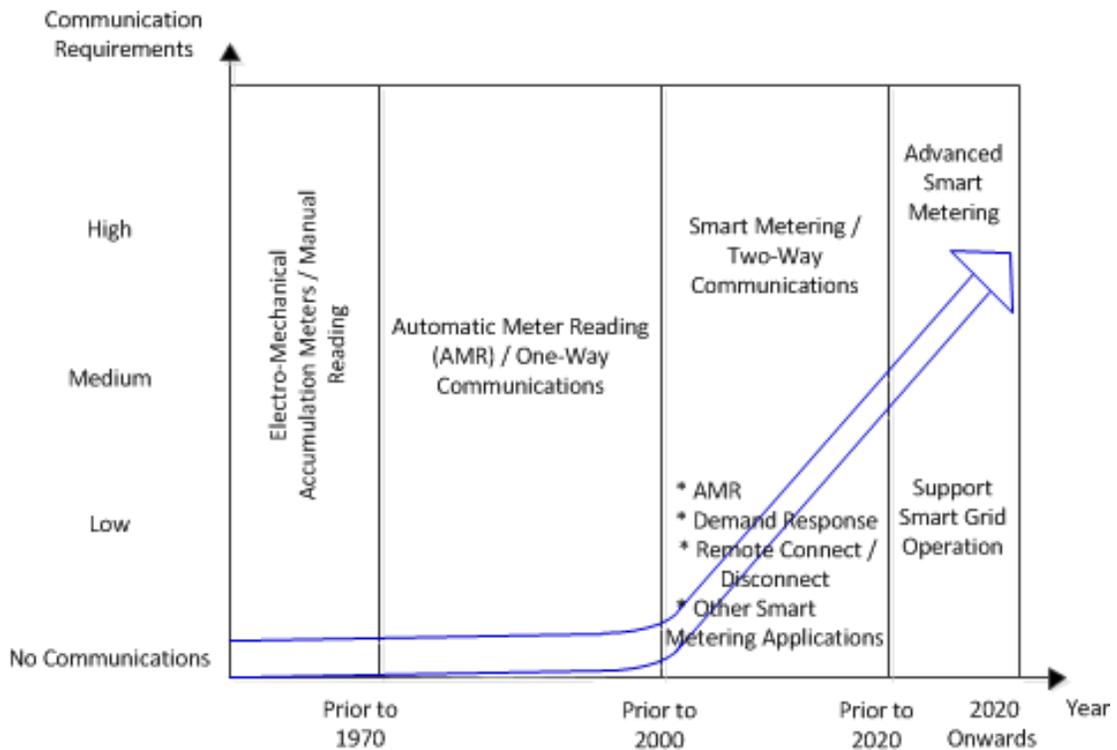


Figura I.1 Evolución de la medición inteligente

Fuente: [3] J. Ekanayake and K. Liyanage, *SMART GRID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS*, First edit. New Delhi, 2013.

Desde el año 2000, el desarrollo en medición de energía eléctrica ha evolucionado a nivel mundial, el despliegue en infraestructura de la red inteligente de energía eléctrica se la ve como un rompecabezas, cada pieza de la red inteligente se despliega a diferente velocidad, la prioridad y el primer paso a nivel mundial es la implementación de medidores inteligentes.

El continente que lidera la innovación tecnológica en medición de energía eléctrica es Europa, las políticas sobre Smart Grid en la unión Europea deben alinearse de acuerdo a la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de abril de 2009, la misma que fomenta y promueve el uso de energías procedentes de fuentes renovables y se fija como meta para el año 2020 instalar los nuevos medidores, al menos al 80% de los consumidores de electricidad.[4]

Los países que encabeza la lista de medición inteligente en la unión Europea son Italia, España, Francia, Suecia.

En Italia desde el año 2001, Enel inicio el proyecto sobre medición de energía

eléctrica en Italia. Enel es la primera empresa a nivel mundial en sustituir los viejos contadores electro-mecánicos con los electrónicos, instalando alrededor de 32 millones de medidores eléctricos inteligentes en cinco años convirtiéndose en la infraestructura de administración remota más grande y más extensa en el mundo y brinda el punto de referencia para todas las empresas de distribución de energía. La innovación tecnológica permite a los clientes italianos ver la información sobre su consumo de energía gracias a los medidores inteligentes, concentradores de datos y la infraestructura de administración remota.[5]

En España, la empresa Endesa, lidera la medición inteligente y ha instalado 13 millones de contadores de nueva generación alineándose con las políticas Europeas, como meta fijada hasta el año 2020, es el reemplazo del 80%, alrededor de 50 millones de medidores electro-mecánicos.

Los contadores inteligentes permiten a las empresas adaptar mejor la producción de energía eléctrica al consumo real. Los beneficios a los consumidores se reflejan en tarifas especiales nocturnas y la presentación del gasto energético generado por cada abonado.[6]

En América del norte países como Canadá y los EE.UU encabezan la lista de la implementación. En los Estados Unidos de Norteamérica, las empresas Pacific Gas & Electric Company adoptaron un ambicioso proyecto, instalando 10 millones de medidores inteligentes hasta el 2012 con una inversión de US\$2.2 billones.

En Canadá se han instalado medidores inteligentes en todas las empresas pequeñas y los hogares. Mientras que el antiguo continente Australia, el despliegue de contadores inteligentes en la ciudad de Victoria es de casi 2,8 millones de medidores instalados en todo el estado.

América del sur países como Brasil, Argentina y Colombia poseen estudios de implementación y están empezando a desplegar la instalación de medidores inteligentes.[7] En Oriente Medio países Arabia Saudita, Irán, India han implementado medidores inteligentes. En el continente asiático se encuentran países como Japón, China y Rusia los cuales ya cuentan con medición inteligente. El siguiente gráfico muestra las zonas con mayor implementación y desarrollo de la medición inteligente a nivel mundial.

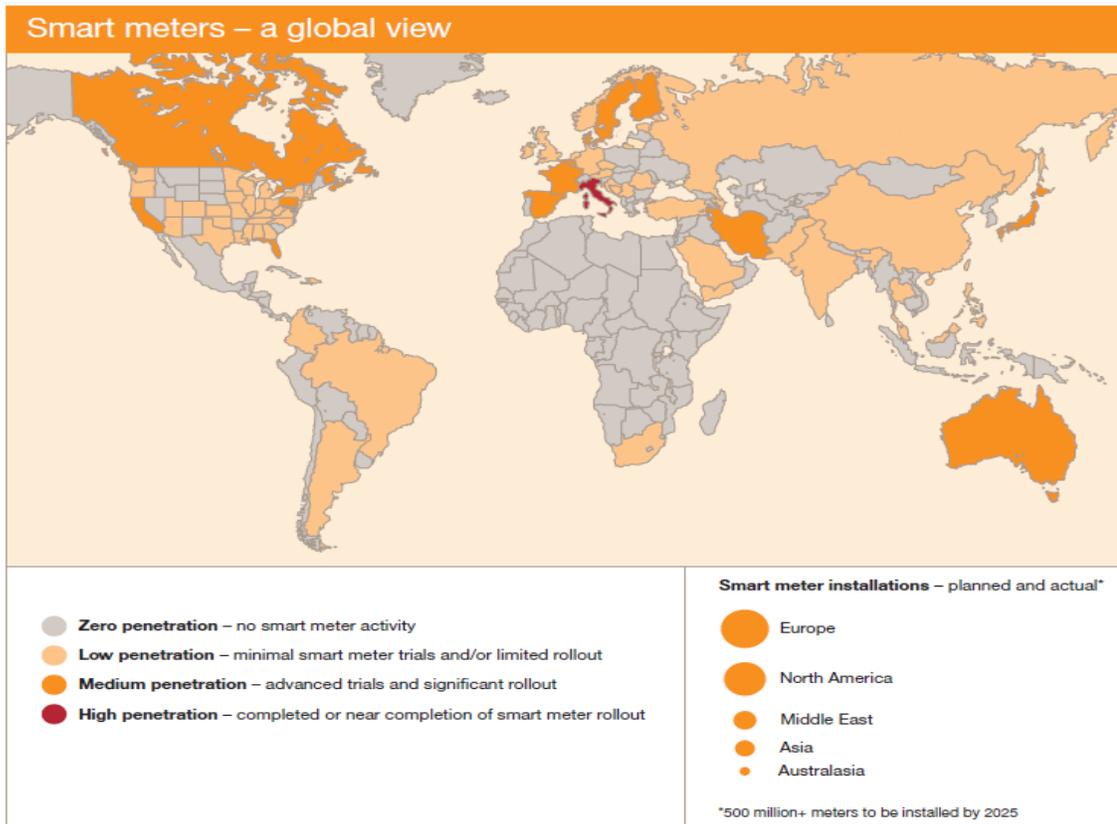


Figura I.2 *Visión global de medición inteligente*

Fuente: [8] *J. Meadows, "Smart from the start," 2010.*

La medición inteligente presenta gran penetración en Norte América, Europa, Asia, Australia. Italia es el país a nivel mundial que lidera la implementación de medidores inteligentes. Los países en vías de desarrollo muestran baja o nula penetración, ejemplo Ecuador que no posee medición inteligente.

1.2 Características de los medidores eléctricos inteligentes.

Los fabricantes a nivel mundial implementan diferentes tecnologías de telecomunicaciones en sus equipos con la finalidad de llegar todos los mercados y cumplir con las necesidades y los requerimientos de cada sector, sea residencial o industrial.

En los Estados Unidos marcas como Landis+Gyr es el líder en ventas de medidores eléctricos inteligentes como lo podemos observar en la figura I.3.

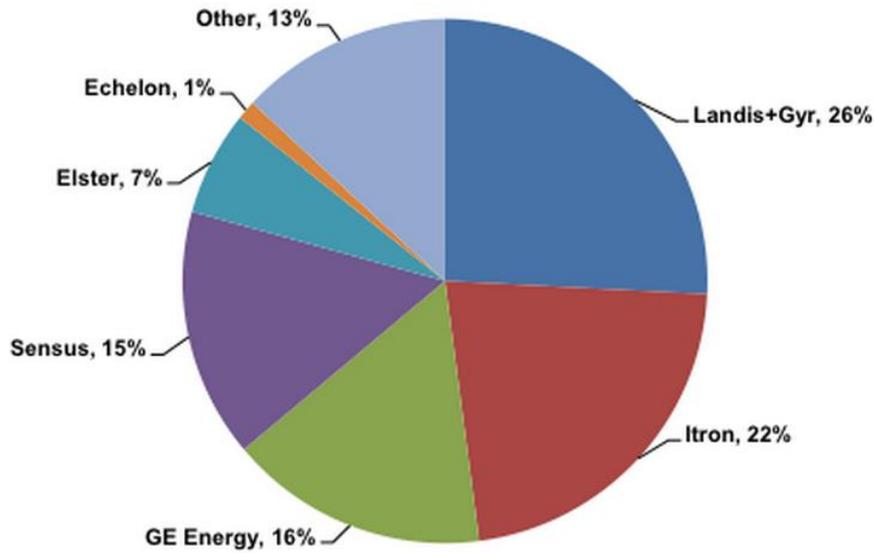


Figura I.3 Líderes en ventas de medidores eléctricos inteligentes en el mercado norteamericano

Fuente:[9] S. Marcacci, “North American market breakdown,” 2012. [Online]. Available: <http://www.marcaccicomms.com/wp-content/uploads/2012/07/Screen-shot-2012-07-03-at-7.43.44-PM.png>. [Accessed: 09-Feb-2015].

La tabla I.1 presenta los módulos de comunicación que utilizan los principales fabricantes de medidores eléctricos inteligentes a nivel mundial.

Fabricantes AMI	Módulos de comunicación
Landys + Gyr	Unlicensed RF, PLC
Itron	Zigbee, unlicensed RF, public carrier network (Open Way)
Elster	Unlicensed RF, public carrier network
Echelon	PLC, RF, Ethernet
GE	PLC, public carrier network, RF
Sensus	Licensed RF (FlexNet)
Eka	Unlicensed RF (EkaNet)
SmartSynch	Public carrier network
Tantalus	RF (TUNet)
Trilliant	Zigbee, public Wireless network

Tabla I.1 Fabricantes de medidores eléctricos y tipos de comunicación. [10]

Landys + Gyr

Landys + Gyr es parte de la corporación Toshiba y uno de los fabricantes con mayor trayectoria en el mercado de medición inteligente. Las principales tecnologías que ofrece Landys + Gyr para la medición inteligente del sector residencial e industrial se muestra en la tabla I.2.:

Modelo	Características
E450-PRIME	<p>Canal óptico: tipo serial, bi-direccional</p> <p>Normas:</p> <p>IEC 62056 - 21: Mecánica y protocolo</p> <p>IEC 62056 - 42: Dlms capa física</p> <p>IEC 62056 - 46: Dlms capa de enlace (HDLC)</p> <p>IEC 62056 - 53: Dlms capa de aplicación (COSEM)</p> <p>Canal Serie RS485 (opcional):</p> <p>Half - duplex con fuente de alimentación aux. 5Vdc. 150mA.</p> <p>IEC 62056-46:dlms link layer (HDLC)</p> <p>IEC 62056-53:dlms application layer (COSEM)</p> <p>Sistema de comunicación PLC (Power Line Carrier) para las funciones de telegestión</p> <p>Modem PLC OFDM según el Estándar PRIME.</p> <p>Protocolo de comunicaciones LMS/COSEM</p> <p>Sistema de comunicación bidireccional</p> <p>Según Norma EN 50065-1</p>
ZCG100/5225/5227	<p>Puerto óptico serie, bi-direccional</p> <p>Rs485 para conexión a modem GSM/GPRS</p>
ZMR100	<p>Puerto óptico serie, bi-direccional</p> <p>Norma IEC 62056-21</p>
5219	<p>Puerto óptico serie, bi-direccional</p> <p>Norma IEC 62056-21</p> <p>Medición</p> <p>IEC 62053-21 Class 1 or 2</p> <p>IEC 62053-23 Class 2 or 3</p>
ZMD120AS	<p>Protocolo IEC y DLMS</p>
ZMD100AR	<p>Según IEC 62053-21/22/23</p> <p>Puerto óptico según IEC 62056-21</p> <p>Tipo Puerto Serie bi-direccional</p> <p>Velocidad máxima 9600 bps</p> <p>protocolos IEC 62056-21 y DLMS</p>
ZMF100 AC/AB	<p>Módulo PLC compatible con DLMS</p> <p>Módulo GSM/GPRS compatible con DLMS</p> <p>Fácil integración del sistema</p>
ZME100AC	<p>IEC62053-21. Emisor de Impulsos S0 según UNE EN 62053-31. Es programable para disponer de salida de datos periódica para según UNE EN 62056-21.</p>

Tabla I.2 Landys+Gyr características de medidores y concentradores.[11]

Itron

Itron es una compañía dedicada a la tecnología global. Crean soluciones para empresas de servicios públicos para medir, administrar y analizar la energía y el agua. El portafolio de productos incluye la medición y el control de la tecnología de sistemas de electricidad, gas, agua y energía térmica.

Modelo Medidores	Características
ACE4000 PLC Mark 3	ACE 4000 PLC y Standalone(S), M-Bus Master(MM).PLC
OpenWay® CENTRON®	Estándares ANSI C12.19 y C12.22 GPRS or CDMA Module

Tabla I.3 Itron características de medidores.[12]

Las soluciones avanzadas de red de Itron están construidas a partir de un equipo confiable que capturan datos y alertas vitales las mismas que son enviadas a los equipos concentradores para ser tratadas.

Modelo Concentradores	Características
Concentrator PLC Mark 3	Comunicación PLC (Power line Carrier) usando el protocolo estándar abierto DLMS COSEM. Comunicación flexible al sistema central: GPRS, Ethernet, etc.
OpenWay Network	Comunicaciones basadas en IPv6 y suministradas a través del sistema OpenWay de Itron. GPRS or CDMA Module

Tabla I.4 Itron características de concentradores.[12]

Elster

Elster presenta medidores inteligentes de electricidad, gas y agua. Las soluciones presentan tecnologías de vanguardia con productos de clase mundial. La empresa tiene dos áreas principales de negocio, los productos de medición, contadores inteligentes y sistemas de redes inteligentes.

Modelo Concentradores	Características
ALPHA SMART AS220	Lectura de los datos del medidor según la especificación VDEW mediante el uso del módulo de comunicación EN 62056-21. Comunicación WAN usando GSM / GPRS Interfaz óptica acc. EN62056-21
ALPHA SMART AS1440	Protocolo de medición - EN62056-21 - DLMS/COSEM (option)

	Preparado para AMI, los módulos de comunicación encajan bajo la cubierta de los terminales del metro AM100 - GSM / GPRS + / inalámbrico con cable M -BusAM200 - inalámbrico M -BusAM500 - PLC utilizando SFSK + cable M-BusAcc interfaz óptico. EN62056-21
ALPHA SMART AS300P	GSM / GPRS; PLC (SFSK y OFDM); RF para las comunicaciones WAN / LAN y una gama de tecnologías HAN están disponibles incluyendo ZigBee.
AS330D	Comunicaciones WAN es proporcionada por un sistema integrado OFDM PRIME PLC. Las comunicaciones están de acuerdo con la capa PRIME estándar DLMS COSEM mac con una capa de convergencia IEC 61334-4-32.

Tabla I.5 Elster características de medidores.[13]

Elster presenta concentradores y repetidores de información, las características de comunicación se detallan en la tabla I.6.

Modelo Concentradores	Características
EA_Gatekeeper	Cellular, Ethernet connecting to: ADSL, satellite, fiber, WiFi, private RF and also PSTN.
EA_Repeater	900 MHz LAN (EA_LAN)

Tabla I.6 Elster características de concentradores.[13]

Echelon

Echelon es una empresa dedicada a la medición de electricidad, energías alternativas creando soluciones para empresas de servicios públicos para medir, administrar y analizar la energía y el agua. El portafolio de productos incluye la medición y el control de la tecnología de sistemas de electricidad, gas, agua, energía térmica y eólica.

Modelo Medidores	Características
MTR 5000	ANSI C12.1-2008 (código para la medición de electricidad); ANSI C12.18-2006 (especificación de protocolo para ANSI Tipo 2 puerto óptico); ANSI C12.19-1997 (tablas de datos dispositivo final de servicios públicos); ANSI C12.20-2002 (clases de precisión); ANSI C12.10-2004 (aspectos físicos de metros vatio - hora – Seguridad estándar).
MTR 3500	Puerto óptico: Certificado según IEC 62056-21 [2002] (requisitos físicos y eléctricos) ; ANSI C12.18 [2006] (Protocolo de comunicaciones); ANSI C12.19 [1997] (estructura de datos) Tipo de canal: CENELEC A- banda de

	canal de comunicación por línea de potencia.
MTR 3000	Puerto óptico: Certificado según IEC 62056-21 [2002] (requisitos físicos y eléctricos); ANSI C12.18 [2006] (protocolo de comunicaciones); ANSI C12.19 [1997] (estructura de datos) Tipo de canal: CENELEC A- banda de canal de comunicación por línea de potencia.
MTR 1000	Puerto óptico: Certificado según IEC 62056-21 [2002] (requisitos físicos y eléctricos); ANSI C12.18 [2006] (protocolo de comunicaciones); ANSI C12.19 [1997] (estructura de datos).

Tabla I.7 Echelon características de medidores.[14]

Echelon presenta concentradores y servidores que permiten almacenar y gestionar la información, las características de comunicación se detallan en la tabla I.8.

Modelo Concentradores	Características
DCN 1000	Se comunica a través de la WAN utilizando cualquier red IP- capaz cable o inalámbrica, incluyendo líneas telefónicas analógicas, GSM, CDMA, y fibra.
DCN 3000	Línea de alimentación de red ISO / IEC 14908 (OSGP y extendido ANSI / EIA 709.1) sobre CENELEC "A" banda (EN 50065.1). Conexiones WAN Interface para IP - capaz través de la red Ethernet , UMTS / GSM módem o CDMA módem o el dispositivo conectado vía RS232 o USB externo (en función de los módulos seleccionados)
SmartServer 2.0	IP a través de una función de interfaz 10 / 100BaseT Ethernet, módem interno opcional analógico de 56K V.90, o GSM externa / GPRS o 3G módem. TP / FT- 10 topología libre de par trenzado o línea eléctrica PL- 20 en banda C ISO / IEC 14908-1 (LonWorks) con una función de transceptor LonWorks. Modbus RTU con una función de RS - 485 transceptores. Modbus TCP (Modbus TCP / IP) con una función de interfaz Ethernet, opcional módem analógico interno o módem externo GSM / GPRS. M -Bus con puerto RS - 485 transceptores y opcional Traductor M -Bus. Los controladores personalizados utilizando una función de Ethernet, RS -232 y RS- 485.

Tabla I.8 Echelon características de concentradores.[14]

1.3 Análisis de los servicios ofertados a los consumidores residenciales

La medición inteligente nace para mitigar las pérdidas en el sistema, mejorar la calidad del servicio por medio de elementos de medición que trabajan conjuntamente con actuadores que envían y reciben información en un entorno de comunicaciones bidireccional.

Los beneficios a proveedores se presentan en la reducción de costos en la medición con lecturas más precisas limitando las pérdidas comerciales debido a que la detección de fraude y robo es más sencilla. Permite una mejor planificación de la generación y el mantenimiento ya que maneja el sistema de distribución en tiempo real.

Los beneficios para el consumidor se presentan con ahorro de energía como consecuencia del manejo de la información que permite realizar planes de consumo, la facturación es más frecuente y exacta. Facilita la adopción de la automatización en el hogar reduciendo el gasto energético.[15]

Los beneficios globales se reflejan en un mejor servicio al cliente, se pueden generar esquemas de precios variables, facilita la integración de generación distribuida, el suministro de energía brinda seguridad y confiabilidad y el uso de tecnologías de la información brinda confianza en todo el sistema eléctrico.

Los servicios ofertados a los consumidores residenciales por parte de las empresas comercializadoras ecuatorianas son muy básicos. Los temas analizados que se muestran en la tabla I.9, se acogen a los servicios que puede ofrecer la medición inteligente.

Empresa Eléctrica	Medidor inteligente	Medición inteligente	Tarifas en periodos	Sistemas prepago	Corte y reconexión automático	Control del consumo de energía	Medición de generación distribuida	Reporte de errores
Empresa Eléctrica Quito S. A.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa eléctrica publica de Guayaquil	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Regional El Oro.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Regional Guayas Los Ríos S.A	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO

Empresa Eléctrica Ambato.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Riobamba S.A.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Santo Domingo.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Península de Santa Elena.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Azogues C.A.	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla I.9 Servicios ofertados por las empresas eléctricas ecuatorianas.

1.4 Selección de medidores inteligentes para el sector eléctrico residencial.

Para la medición residencial e industrial se han elegido medidores inteligentes de energía eléctrica de acuerdo al tipo de comunicación que posee y sus prestaciones. La tabla I.10 muestra cinco modelos de medidores eléctricos de tres diferentes fabricantes que se encuentran actualmente en el mercado y presentan en su hardware módulos GSM para el envío de información al concentrador permitiendo interoperabilidad.

Fabricante	Modelo
Landys + Gyr	E450-PRIME
Itron	OpenWay® CENTRON®
Elster	ALPHA SMART AS220
Elster	ALPHA SMART AS1440
Elster	ALPHA SMART AS300P

Tabla I.10 Medidores eléctricos residenciales con GSM.

CAPÍTULO II

II. INFRAESTRUCTURA Y NORMATIVA

El presente capítulo describe la infraestructura necesaria para medición inteligente o smart meter. Se detallan los tipos de redes de datos que permiten las comunicaciones al igual que las tecnologías que son utilizadas en los medios de transmisión tomando en consideración protocolos y normativas que permiten la transmisión de información entre medidores eléctricos inteligentes y concentradores.

2.1 Infraestructura necesaria para la medición inteligente.

Los requerimientos para medición inteligente son: alta confiabilidad, vida útil, interoperabilidad, rentabilidad, seguridad, consumo mínimo de energía, bajos costos de instalación y mantenimiento.[16]

Para realizar medición inteligente se pueden emplear diferentes tipos de tecnologías de telecomunicaciones de acuerdo al área de aplicación y al canal de transmisión. La figura II.1 muestra los tipos de arquitecturas de comunicación que son empleadas en la medición inteligente.

Los medios guiados para realizar telecomunicaciones incluyen la red telefónica pública conmutada (PSTN), PLC portadora en la línea de alimentación, Ethernet y cable módems.

Los medios no guiados para realizar telecomunicaciones incluyen ZigBee, infrarrojos, RFID y GSM / GPRS / CDMA celular.

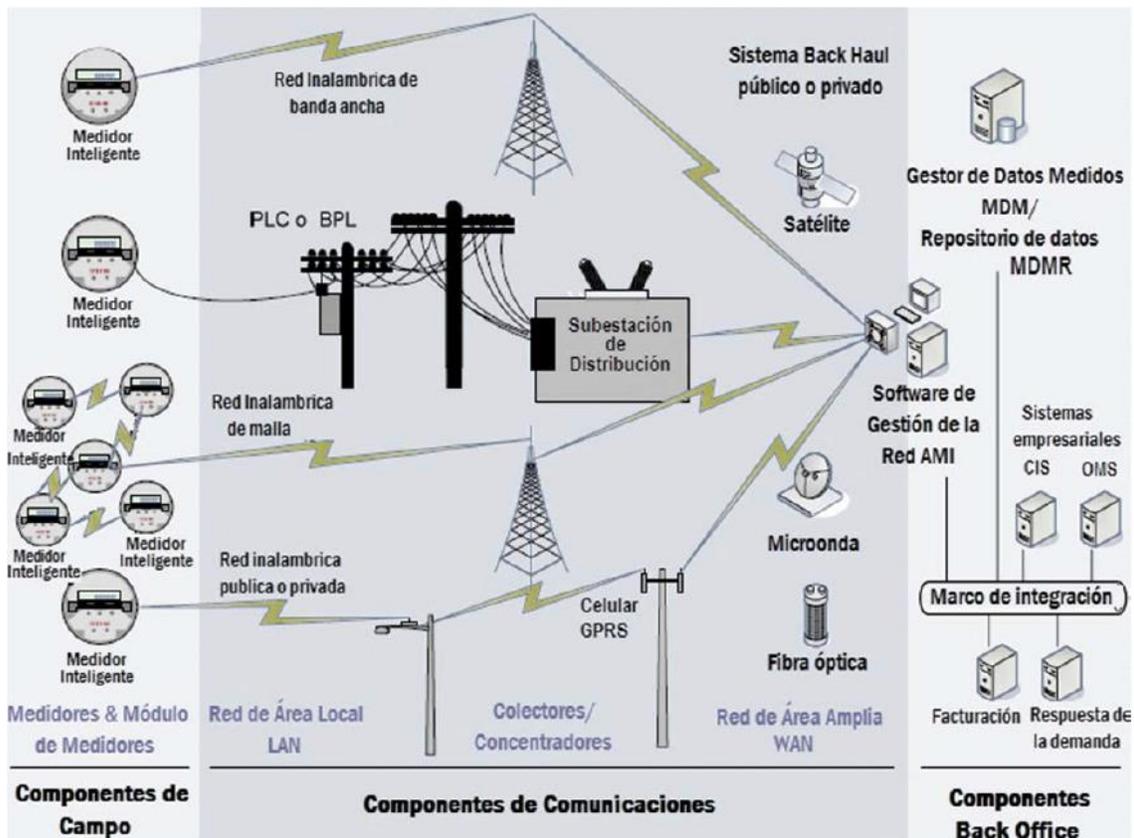


Figura II.1 Arquitecturas típicas de redes en sistemas AMI.

Fuente:[17] M. Alvarado, “Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana,” Universidad de Cuenca, 2011.

La infraestructura necesaria para la medición inteligente se divide en tres zonas de acuerdo al tipo de comunicación:

- Red de área local (HAN).
- Red de área de vecindad (NAN).
- Red de área amplia (WAN).

Red de área local (Home Area Network)

HAN conocido también como BAM (Building Area Network)[18], es un sistema integrado dentro de los hogares que permite la comunicación entre diferentes dispositivos inteligentes, tiene como límite el medidor de energía eléctrica, el principal elemento que lo constituye es el contador inteligente. El contador inteligente proporciona servicios públicos como respuesta a la demanda. Los

servicios que ofrecen son: gestión de micro-generación, carga de los vehículos eléctricos, electrodomésticos inteligentes, tomas de corriente inteligente.

Red de vecindad (Neighbourhood Area Network)

NAN, permite la conexión entre múltiples HANs, es un sistema de interconexión entre medidores inteligentes. La cobertura se la realiza de acuerdo a zonas. El principal elemento que lo constituye es el concentrador. El concentrador de datos actúa como un puente entre los contadores inteligentes y la puerta de enlace. El concentrador de datos detecta y gestiona los medidores inteligentes de forma automática, realiza lecturas de los consumos y transfiere la información a los centros de control, también facilitan los mensajes de diagnóstico, actualizaciones de firmware y supervisión de las condiciones de los medidores.

Red de área amplia (Wide Area Network)

WAN conecta múltiples sistemas de distribución y actúa como un puente entre redes NANs - HANs y la red de servicios públicos. WAN ofrece una red de backhaul para conectar la empresa de servicio público a las instalaciones del cliente. En este caso, la red de retorno puede adoptar una variedad de tecnologías (Ethernet, red celular, o el acceso de banda ancha) para transferir la información extraída de la red NAN a las oficinas locales de servicios públicos. Una puerta de enlace WAN puede utilizar la conexión de banda ancha o, posiblemente, una red basada en IP para proporcionar un acceso para la oficina de servicios públicos para recoger los datos requeridos. La privacidad, fiabilidad y seguridad de la información son los principales aspectos que se evalúa en la red WAN.[18]

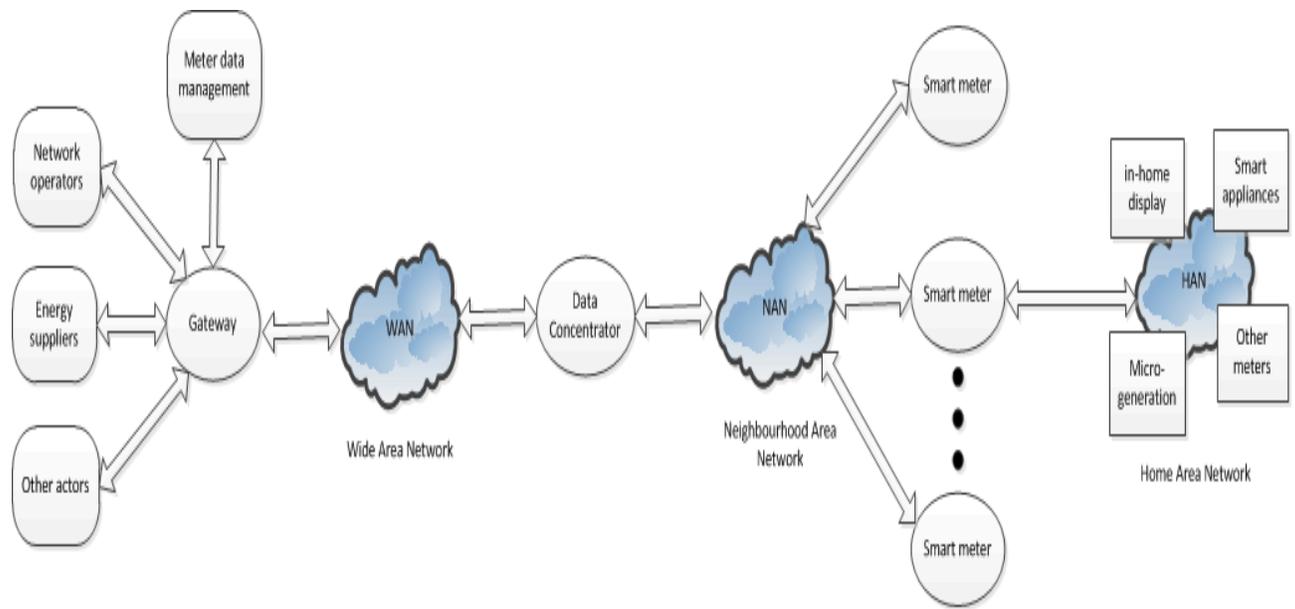


Figura II.2 Comunicaciones para medición inteligente

Fuente: [3] J. Ekanayake and K. Liyanage, *SMART GRID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS*, First edit. New Delhi, 2013.

2.2 Normativa aplicada a la interoperabilidad entre medidores inteligentes.

Generalmente, la estandarización de la infraestructura AMI incluye la estandarización de los protocolos de comunicación AMI y los modelos de información de AMI. En los últimos años, el objetivo de la estandarización de los protocolos de comunicación con AMI se ha desplazado gradualmente desde el nivel físico al nivel de aplicación.

Los problemas en redes inteligentes se deben a la interoperabilidad entre sistemas, ya que la transmisión de datos se efectúa por a través de diversas redes y sistemas de comunicación. Bajo el presente contexto, la interoperabilidad se convierte en una cuestión crucial, permitiendo a la infraestructura y la información se reúna en un sistema interoperable e integrado permitiendo el intercambio fluido de datos sin la intervención del usuario. El objetivo más importante de la interoperabilidad es proporcionar capacidad plug-and-play, donde se configuran los componentes y el sistema automáticamente comenzando a operar con sólo conectar en el sistema principal. Aunque el concepto es simple la ejecución de plug-and-play no es fácil y en muchas situaciones llega a ser complejo y poco práctico especificar una interfaz estándar entre dos sistemas diferentes. Por otra

parte, el problema de interoperabilidad aumenta a medida que el esfuerzo por hacer y probar estos cambios aumenta. Sin embargo, las normas o mejores prácticas como el uso de un modelo semántico común (por ejemplo, IL) que permita a una comunidad de integradores entender fácilmente disminuyendo los problemas de interoperabilidad. La mejora de la interoperabilidad no sólo reduce los costes de instalación y de integración sino que también proporciona puntos bien definidos en un sistema que permita interoperabilidad entre nuevos componentes de automatización que se conectan al sistema existente. Esto puede permitir la sustitución de componentes por otros manteniendo la integridad global del sistema. Esta característica de sustitución proporcionará la escalabilidad necesaria para el sistema eléctrico de manera que pueda evolucionar para satisfacer cambiantes recursos, demandas y tecnologías más eficientes. La arquitectura GridWise visualiza los problemas de interoperabilidad de alto nivel. Es conocida como la pila GWAC, la arquitectura identifica ocho categorías de integración e interoperabilidad de los diferentes sistemas de red inteligente. Las ocho categorías de la pila GWAC se dividen de la siguiente manera: *Organizacional*, hace hincapié en los aspectos de la operación pragmática entre empresas y políticas, inherente a la gestión de la electricidad. Presenta Tres capas nombradas como política económica regulatoria, los objetivos del negocio, y los procedimientos empresariales.

Informativo, hace hincapié en los aspectos semánticos de interoperación, centrándose en la información que se intercambia y su significado.

Técnico, enfatiza la sintaxis o formato de la información, centrándose en cómo se representa información dentro de un intercambio de mensajes y en la comunicación de la sintaxis en el medio, la interoperabilidad de la red, y las capas básicas de conectividad forman este grupo.

La característica más importante de la pila GWAC es que cada capa define los aspectos de interoperabilidad, esto significa que cada capa depende, y está habilitada por, la capa inferior. La figura II.3 muestra la asociación de la pila GWAC con las 7 capas del modelo de comunicación (OSI).

OSI	GWAC	Función de las capas
7. Aplicación	3. Sintaxis de interoperabilidad Comprensión de los datos Estructura mensajes Intercambio entre sistemas	- Traducción de los caracteres de datos de un formato a otro. - Estructura del contenido del mensaje - Patrones de intercambio de mensajes
6. Presentación		
5. Sesión	2. Interoperabilidad de las redes Intercambio de mensajes entre el sistema a través de una variedad de redes	- Traducción de direcciones lógicas y nombres a direcciones físicas. - Transferencia transparente y fiable de datos entre sistemas. - La transferencia de datos entre el origen y el destino a través de intermediarios de la red. - Gestión de la orden de entrega de mensajes
4. Transporte		
3. Red		
2. Enlace de datos	1. Conectividad básica Mecanismo para establecer conexiones físicas y lógicas del sistema	- Acceso a los medios de hardware y conectividad eléctrica - Transferencia de datos entre nodos de red - Codificación de caracteres, transmisión, recepción, decodificación y corrección de errores
1. Física		

Figura II.3 Modelo OSI y GWAC con sus respectivas funciones

Fuente: [18] E. Hossain, Z. Han, and V. Poor, *Smart Grid Communications and Networking*. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2012.

Basado en las áreas del marco GWAC, en la interoperabilidad se destacan los siguientes problemas que son importantes desde el punto de vista de la comunicación:

Significado del contenido.- para la comunicación efectiva en todas las categorías de interoperabilidad, el significado del contenido debe ser interpretado en su contexto tanto correctamente y con claridad. Es decir, una comprensión semántica común del contenido es necesaria entre múltiples proveedores emergentes y empresas.

Identificación de recursos.- esto se utiliza para identificar los recursos tales como generador, aparatos eléctricos, o cualquier nodo funcional de modo que puedan ser identificados de forma autónoma por todos los componentes de la automatización que necesitan para interactuar. La identificación de recursos es crucial para la interoperación, la red eléctrica inteligente requiere esos recursos

para medir los parámetros de rendimiento y controlar de forma inteligente cuando sea necesario.

Plug-and-play.- es un aspecto importante de los sistemas integrados compuestos por diferentes redes de comunicación, tales como redes inteligentes. Es la manera en que se configuran los componentes de automatización para lograr que interactúen correctamente. En este sentido, la capacidad plug-and-play es la clave de los problemas de interoperabilidad.

Sincronización de tiempo y secuencia.- el sistema eléctrico es de alta velocidad, sistema en tiempo real que reacciona muy rápidamente a las perturbaciones y los cambios de carga. Los sistemas de monitoreo y control deben mantener precisión en la sincronización con los reportes en tiempo real.

Seguridad y privacidad.- una red inteligente consiste en una serie de dispositivos y sistemas, la interfaz de conexión puede ser vulnerable a las amenazas de seguridad. La seguridad y privacidad se alinean a políticas como la autenticación y autorización de usuarios del sistema. En el caso de las redes inteligentes, la definición de políticas de seguridad permite la interconexión de múltiples sistemas.

Calidad de servicio (QoS).- significa brindar un correcto desempeño en materia de seguridad, privacidad, rendimiento de las transacciones, etc. Requisitos tales como las latencias de respuesta, los componentes de automatización, la comunicación y la fiabilidad debe cumplir con el requisito de QoS dentro de su porción del proceso permitiendo el intercambio de información. Por lo tanto los requisitos de QoS deben ser especificados con antelación en los convenios de colaboración para reducir al mínimo cualquier fallo que pueda surgir.

Escalabilidad.- en el sistema eléctrico, actualizaciones o mantenimiento no deben perturbar el funcionamiento general del sistema. En este sentido, una ruta de actualización debe permitir a las versiones antiguas (legacy) trabajar con las nuevas versiones (tecnología emergente). Además, como el sistema evoluciona, deben tener la capacidad de escalar con el tiempo para satisfacer las proyecciones de crecimiento esperadas.

En la siguiente sección, se tratarán los protocolos de comunicación a nivel de aplicación que son populares tanto en los Estados Unidos (C12.19 y C12.22) como en los mercados europeos (IEC 62056-53-62).

ANSI

La norma ANSI C12.18, es un estándar de protocolo punto a punto que transporta los datos del medidor a través de una conexión óptica. Después, el "Protocolo de Especificaciones para Comunicaciones por Modem Telefónico" ANSI C12.21, permitió a los dispositivos el transporte de datos a través de módems telefónicos. El estándar C12.22, amplía los conceptos de los estándar ANSI C12.18 y C12.21, permitiendo el transporte de datos a través de cualquier sistema de comunicaciones de red fiable.

El objetivo de la norma ANSI C12.22 es de definir una infraestructura de red de malla a medida para aplicaciones AMI. La norma contiene las siguientes funcionalidades:

Para definir un datagrama y transmitir tablas de datos mediante ANSI C12.19 a través de cualquier red, se debe incluir la red AMI que opcionalmente incluye internet.

Para proporcionar una comunicación de siete capas para interconectar un dispositivo C12.22 con otro dispositivo C12.22 se crean módulos de comunicación. Para proporcionar una infraestructura para la comunicación punto a punto, se utilizarán puertos locales, tales como puertos ópticas o módems.

Para proporcionar una infraestructura para la eficiente mensajería unidireccional

La red de malla ANSI C12.22 consta de los nodos C12.22 y red.

Un nodo C12.22 es un punto de la red, que combina un dispositivo C12.22 y módulo de comunicación. El módulo de comunicación C12.22 es un módulo de hardware que conecta un dispositivo de C12.22 a una red C12.22. El dispositivo C12.22 contiene datos de los medidores en formas de tablas. La interfaz entre el módulo de comunicación y el dispositivo está completamente definida por la norma C12.22.

La red C12.22 define una infraestructura de comunicación AMI que se compone de uno o más segmentos de red C12.22 o una LAN C12.22. Dentro de un

segmento de red, una colección de nodos C12.22 se comunica sin el reenvío de mensajes a través de C12.22 o una puerta de enlace C12.22. Los segmentos de red C12.22 se pueden conectar una C12.22 WAN a través de C12.22 y puertas de enlace, donde medidores de diversos segmentos de la red pueden comunicarse entre sí.

Al igual que el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), el protocolo de comunicación C12.22 consta de siete capas, una capa de aplicación (capa 7), una capa de presentación (capa 6), una capa de sesión (capa 5), una capa de transporte (capa 4), una capa de red (capa 3), una capa de enlace de datos (capa 2), y una capa física (capa 1). A diferencia de OSI, C12.22 se ha personalizado para el transporte de datos de la medición. Los servicios proporcionados por la capa siete de C12.22 incluyen un servicio de identificación, un servicio de lectura, un servicio de escritura, un servicio de seguridad, un servicio de seguimiento, y otros. Las capas 1 a 6 proporcionan diferentes conexiones físicas red en la industria de medidores, así como la conexión de internet estándar.

IEC

IEC62056, define las clases de interfaz de los medidores basándose en el modelo “Companion Specification for the Energy Metering” COSEM, incluye una serie de normas sobre el intercambio de datos de la lectura de contadores, tarifas y control de carga. Similar a ANSI C12.22, IEC62056-53, el protocolo de comunicación de capa de aplicación en el modelo COSEM, se define sobre la base de los otros protocolos de la serie IEC62056, incluyendo IEC62056 21, 42, 46 y 47. Excepto por la IEC62056-21, que se utiliza en dispositivos de mano para el intercambio de datos localmente con los medidores, los protocolos restantes definen las diversas capas de la red de comunicaciones que admite la comunicación a nivel de aplicación: la capa física (IEC62056-42), enlace de datos (IEC62056-46), y la capa de transporte (IEC62056-47). Similar a ANSI C12.22, los datos de los medidores realizadas por IEC62056-53 se definen por IEC62056-61 y IEC62056-62, que son medidores dedicados con modelos de datos serie IEC62056. Como un protocolo de comunicación de capa de aplicación, IEC62056-53 ofrece principalmente tres servicios, semántica de nivel de aplicación: el servicio GET (solicitud, confirmar), el

conjunto de servicio (solicitud, confirmar), y el Servicio de Actividades (solicitud, confirmar). Aunque tanto IEC62056 y ANSI C12.22 proporcionan una manera de construir la malla de red avanzada AMI, cada uno tiene un enfoque único en el mercado: IEC62056 se centra principalmente en el mercado europeo, mientras que la norma ANSI C12.22 se centra en el mercado americano. En el actual mercado de América del Norte, la mayoría de los proveedores de AMI apoyan C12.18 y C12.21, pero pocos apoyo C12.22, ya que se ha definido recientemente. Itron, Elster y Trilliant fueron los pioneros que soportan los protocolos de comunicación C12. Debido a las ventajas de C12.22, se puede predecir que en un futuro próximo, la mayoría de los principales proveedores de medidores inteligentes apoyarán C12.22 protocolos de comunicación estándar.

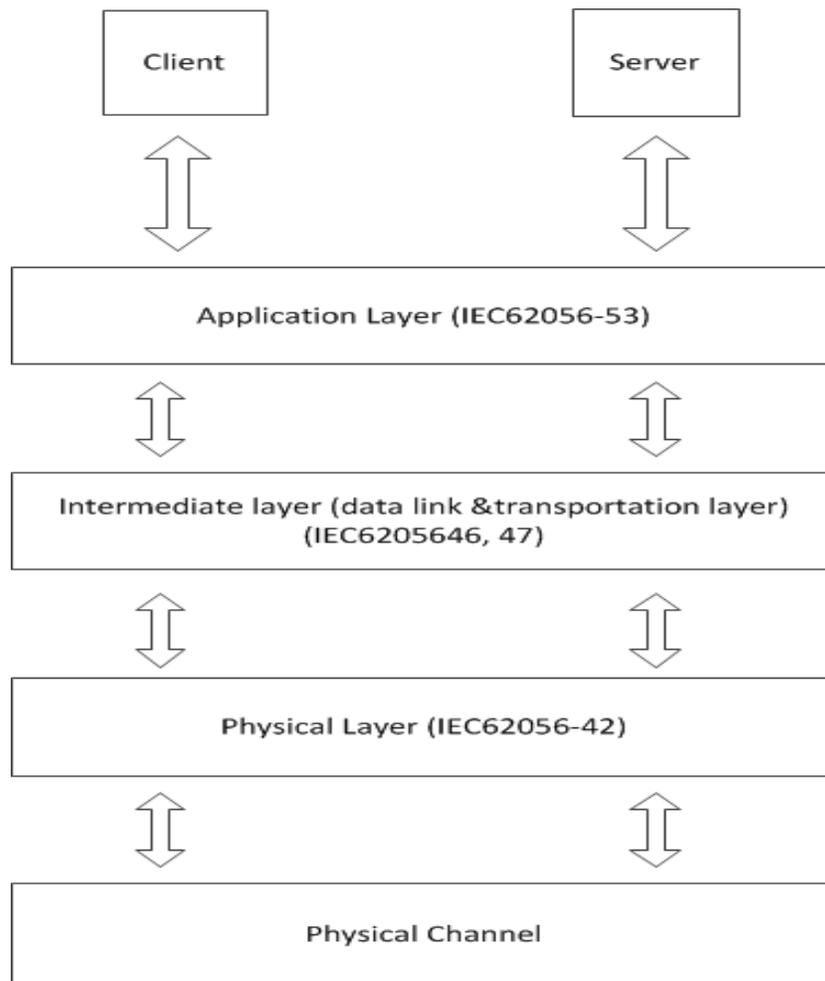


Figura II.4 Capas de comunicación del modelo IEC62056.

Fuente:[10] R. Yu, X. Zhang, and V. Leung, *Green Communications and Networking*, First edit. New Delhi, 2013, pp. 271–301.

2.3 Protocolos de comunicación para medidores eléctricos inteligentes.

Los protocolos de comunicación para medición inteligente se dividen en tres áreas HAN, NAN, WAN. La comunicación NAN es la encargada de interconectar los medidores eléctricos inteligentes. En la tabla II.1 describe los distintos tipos de protocolos de comunicación que pueden ser usados para comunicación entre los medidores de energía eléctrica.

Subredes	Tecnologías de comunicaciones
HAN	Ethernet, Wireless Ethernet, Power Line Carrier (PLC), Broadband over Power Line (BPL), ZigBee
NAN	PLC, BPL, Metro Ethernet, Digital Subscriber Line (DSL), EDGE, High Speed Packet Access (HSPA), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Long Term Evolution (LTE), WiMax, Frame Relay
WAN	Multi Protocol Label Switching (MPLS), WiMax, LTE, Frame Relay

Tabla II.1 *Tecnologías usadas en Smart grid [3]*

Dependiendo de la tecnología de comunicaciones los protocolos se dividen en capas, estas capas pueden ser descritas por los modelos OSI, TCP/IP los mismos que clasifican en: Capa aplicación, es la información que se presenta al usuario por medio de un software que puede ser de control o monitoreo. Capa presentación, es la representación de los 1 y 0 recibidos en la comunicación. Capa sesión, es la encargada de definir como se comunican. Capa transporte, supervisa que los procesos se ejecuten en cada nodo. Capa red, permite que la información de un nodo llegue a otro nodo viajando por varios caminos. Capa enlace de datos, es responsable de la transferencia fiable de la información del nodo. Capa física, define las características técnicas y funcionales del medio.

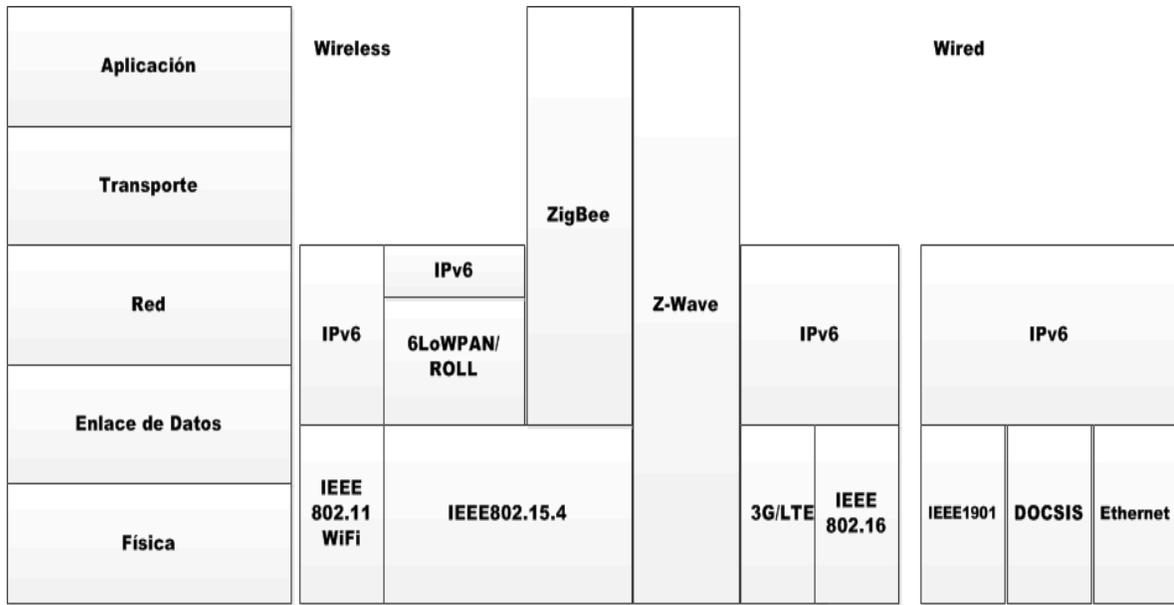


Figura II.5 Tecnologías de comunicación para redes locales [19]

Fuente:[10] R. Yu, X. Zhang, and V. Leung, *Green Communications and Networking*, First edit. New Delhi, 2013, pp. 271–301.

Comunicaciones para redes inteligentes

Esta sección discute los pilares fundamentales de las comunicaciones y arquitectura para redes inteligentes. Define los principales segmentos, asignándolos a sistemas de energía de potencia y capas asociadas.

Por lo general, la arquitectura de red para Smart grids es de varios niveles, que tiene los siguientes componentes: red de servicios públicos de área local (LAN), red LAN en subestación, redes de área amplia (WAN) que comprenden columna vertebral y núcleo de la red, red de área regional o metropolitana (MAN) y backhaul, última red de acceso milla y las instalaciones del cliente.

Red de área local (LAN).- se compone de operaciones de servicios públicos y redes de área local de la empresa para gestionar los procesos de control y diversos servicios de redes inteligentes incluyendo facturación y automatización que brinda la empresa. Interconecta no sólo a la WAN a través de telefonía fija o las comunicaciones inalámbricas, sino también del internet público para el intercambio de datos de clientes a terceros.[20]

Red de área amplia (WAN).- se compone de la red troncal principal que conecta a las principales servicios de backbone o troncales, red de área regional y

metropolitana (MAN), y la red de backhaul. Backhaul es un punto de red presente en la última milla, que transporta datos de los clientes, los datos de automatización de subestaciones. La WAN, podría ser una empresa o una red de proveedores de servicios públicos. La WAN también interconecta a las redes públicas de internet, redes de área local de subestaciones y redes de control de servicios públicos y de TI empresariales. WAN conecta las operaciones de servicios públicos y se utiliza por la transmisión y sistemas de generación.

Red de última milla.- permite la comunicación bidireccional en tiempo real entre los servicios públicos y los consumidores, se superpone en la parte superior del sistema de distribución de energía. Por lo general, es nombrado como NAN y FAN, dependiendo de las características del sistema de red de servicios públicos, los servicios ofrecidos, la topología de red, la demografía y la tecnología del proveedor utilizado. La última milla podría ser una alternativa de tecnología integrada y red de usos múltiples para los servicios de infraestructura de medición avanzada (AMI) (medición inteligente, respuesta de la demanda, etc.), automatización de la distribución, dispositivos electrónicos inteligentes (IED) en el campo, y la automatización de subestaciones. Como alternativa, la última milla podría estar compuesta por las tecnologías de red individuales con diferentes propósitos y características de la red para cada aplicación particular. En un extremo, que se conecta con los medidores inteligentes del cliente, los dispositivos de IED de campo y, a veces los puntos calientes de subestaciones de distribución. En otro extremo se conecta entre las interfaces de punto de acceso a la red con la red de retorno, donde los datos se recogen para ser transportados desde la red interna a la WAN. La última milla también puede proporcionar una comunicación a los recursos distribuidos de fuentes de energía renovables y no renovables conectadas a la distribución.

Cliente.- incluye la red de área de negocio o residencial HAN y red de área industrial. HANs son responsables de la comunicación entre la interfaz de proveedor de cliente (ejemplo medidor inteligente) y varios dispositivos inteligentes de energía ejemplo termostatos inteligentes, dispositivos de control de carga, pantallas en el hogar, electrodomésticos inteligentes, plug-in de vehículos a

electricidad y la operación adecuada de estos dispositivos para gestionar de manera eficiente y monitorear la oferta y la demanda de electricidad en hogares. Estas redes también están conectadas a los elementos que se encuentran fuera de las instalaciones del cliente como las fuentes de energía renovables y dispositivos de almacenamiento. La red HAN se encuentra conectada a la red pública de internet a través de la interfaz de servicio de energía (ESI).

Tecnologías cableadas o wireline

Tecnologías de telefonía fija se basan en una conexión física directa a los suscriptores sean comerciales o residenciales. Muchas de estas tecnologías incluyen módem de cable, xDSL, PLC. Las comunicaciones han evolucionado para utilizar las conexiones existentes que posee el abonado como medio de comunicación. En otras palabras, las tecnologías de telefonía fija se utilizan para la transmisión de datos a través de un medio físico como las tecnologías de líneas de cables de par trenzado se utilizan para la transmisión de datos a través de un medio físico tal como un cable de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica. Por lo general, estas tecnologías pueden ofrecer una mayor capacidad y menor retardo de comunicación. Varias tecnologías de cable pueden ser considerados para WAN, NAN / FAN y HAN.

Comunicaciones por fibra óptica

Las comunicaciones por fibra óptica es una técnica de enviar información de un lugar a otro mediante el envío de impulsos de luz a través de un núcleo de vidrio. La luz actúa como la onda portadora, que se utiliza en la modulación para llevar la señal de información. La transmisión de información implica pasos básicos, que crean una señal óptica para transportar la información utilizando un transmisor, la transmisión de la señal a través de la fibra óptica, debe asegurar que la señal no se debilita antes de que los datos lleguen al destino, en la recepción la señal luminosa se debe convertir en señal eléctrica. Comúnmente, la fibra óptica se utiliza para la conectividad de largo recorrido tales como WAN, MAN, y así sucesivamente, así como acceso de última milla, es decir, NAN.[21]

X10

X10 es una tecnología popular y de estándar abierto para la comunicación entre los dispositivos electrónicos utilizados para la automatización del hogar. Utiliza principalmente cableado de la línea de energía para la señalización y control, las señales representan información digital. Los datos se codifican en un portador de 120 kHz, que se transmite rápidamente, un bit se envía dentro de una proximidad especificada a cada cruce por cero a 50 o 60 Hz. Este método está estandarizado en la norma IEC 61334 y también se utiliza para medidores de electricidad y SCADA. Sin embargo, esta tecnología ha sido limitada por su velocidad de datos, fiabilidad y escalabilidad.

INSTEON

INSTEON es un sistema para la conexión de los interruptores de iluminación y cargas sin cableado adicional y fue inventado por SmartLabs Inc. INSTEON ha sido utilizado en la automatización del hogar por casi diez años. Es un híbrido de redes de malla peer-to-peer, utiliza protocolo de línea de potencia INSTEON y protocolo banda de RF INSTEON ISM ambos propietarios y se destina principalmente para el control del hogar automatizado. La red es auto configurable, aunque se requiere mapeo de botones en los controladores a la función del dispositivo.

La línea de protocolo de INSTEON puede coexistir con X10 y los desarrolladores pueden implementar dispositivos que admitan la interfaz permitiendo que coexistan juntos. Se logra velocidades de datos 2880bps que operan el medio dual. La red utiliza una topología no enrutada donde todos los nodos reciben y reenvían los mensajes. Con el fin de aprovechar las ventajas de los protocolos de transporte comunes, como TCP / IP, dispositivos INSTEON deben estar equipados con interfaces serie construidos expresamente como USB, RS232 o Ethernet y se conectan con otros dispositivos digitales y redes como LAN o Internet.

KNX

KNX es un estándar de control de viviendas y edificios. Es de protocolo abierto pero patentada propiedad de una alianza industrial, la KNX ha ganado una serie de aprobaciones estándares como ISO / IEC 14543-3. Línea de alimentación KNX

opera en la banda de 90 a 125 KHz y a una velocidad de 1200 bps, mientras que el cableado de par trenzado dedicada alcanza 9.600 bps y longitud de cable máxima de 1000m. KNX también puede ser un túnel a través de una LAN Ethernet o Internet a través de la especificación KNXnet / IP. La facilidad de instalación es una característica clave que KNX proporciona con una sola herramienta, que es compatible con todas las implementaciones y todos los niveles de usuario. KNX se encuentra principalmente para la iluminación y HVAC. KNX ha estado trabajando para introducir soluciones para la gestión de energía en el hogar y de red inteligente. KNX RF tiene el potencial para realizar una red de sensores inalámbricos (WSN), pero el factor de forma es restrictivo para la detección del medio ambiente en todas partes. Knx soporta para varios medios de comunicación presenta enormes fortalezas, pero es debilidad es la falta de seguridad en KNX RF.

LonWorks

LonWorks es un estándar de tecnología probada y que abarca todos los elementos necesarios para diseñar, instalar, supervisar y controlar una red de diversos dispositivos. Esta plataforma de redes es un protocolo creado por Echelon Corporation para los dispositivos de red a través de medios tales como par trenzado, cables de electricidad, fibra óptica y RF. Se utiliza para la automatización de diversas funciones dentro de los edificios, como la iluminación, HVAC, y edificios inteligente. Desarrolladores han ampliado su campo de aplicación, LonWorks todavía tiene problemas con la flexibilidad y escalabilidad que hacen otras aplicaciones difíciles. La red LonWorks emplea una topología de difusión de todo el dominio sin conexión con routers y repetidores de aprendizaje sin bucles. Mientras que la mayoría del protocolo LonWorks es público y abierto, las capas 3 a 7 de los estándares son cerradas y propietarias. La plataforma LonWorks se utiliza para diversas aplicaciones que abarcan edificios inteligentes, ciudades inteligentes, la red eléctrica inteligente, y otros controles inteligentes como la automatización comercial y automatización industrial.

UPB

El protocolo Universal Power Bus, es utilizado en edificaciones donde existen líneas eléctricas para llevar mensajes de automatización del hogar. El uso de las líneas de energía en lugar de señales inalámbricas tiene sus ventajas como señales transmitidas por las líneas eléctricas pueden viajar distancias más largas. Además, las señales de la línea eléctrica de UPB no tienen que dar cuenta de las obstrucciones de la pared en como las señales inalámbricas lo hacen. La fiabilidad de las transmisiones de UPB puede llegar a ser del 99%. Las principales ventajas de UPB son los siguientes: es barato, señales pueden viajar largas distancias y se puede utilizar en sistemas peer-to-peer o un sistema basado en el controlador. Sin embargo, las desventajas son las siguientes: no tiene la comodidad de sistema inalámbrico, la velocidad de datos para la transferencia de mensajes UPB está limitada a 480 bit / s y sólo se permite un máximo de 250 dispositivos en el hogar. Otra desventaja es que UPB se limita a las tomas eléctricas instaladas en la edificación.[21]

Banda Ancha sobre Líneas Eléctricas

Banda ancha sobre líneas eléctricas (Broadband over Power Lines) es un método de PLC que permite relativamente alta velocidad de transmisión de datos digitales a través del cableado de distribución de energía eléctrica pública existente y no necesita una capa de red, ya que tiene acceso directo a las zonas de cobertura de servicios públicos.

Sistemas BPL están siendo promovidas como una manera de minimizar los costos para dar servicio a un gran número de suscriptores de banda ancha. En un sistema de BPL, los datos se transmiten a través de la línea de alimentación existente como señal de alta frecuencia de baja tensión, que está acoplado a la señal de potencia de baja frecuencia de alta tensión. La banda de transmisión de frecuencia ha sido elegida para asegurar interferencia mínima con la señal de potencia existente. Velocidades de datos típicos en las normas actuales son 2.3 Mbps, pero los vendedores han indicado que los sistemas comerciales ofrecen hasta 200 Mbps podrían eventualmente estar disponibles. Sin embargo, no hay ninguna ruta de actualización claro para velocidades de datos más altas. La

mayoría de los sistemas BPL en la actualidad se limitan a un rango de 1 km dentro de la red de baja tensión, pero algunos operadores están extendiendo esta distancia hasta la red de media tensión. La experiencia ha demostrado que BPL requiere una alta velocidad y servicios de banda ancha fiables. Las frecuencias utilizadas para BPL a menudo interfieren con la transmisión de radio amateur. En la actualidad, dado el costo y la falta de una ruta de actualización, parece poco probable que BPL surja como una tecnología de banda ancha.[18]

HomePlug / IEEE 1901

HomePlug es un estándar para la red en la línea eléctrica, se propuso como estándar por HomePlug Powerline Alliance. HomePlug AV es la especificación HomePlug más utilizado que ha sido adoptado por el grupo IEEE 1901 como una tecnología de línea de base. La tecnología HomePlug AV2 es la más reciente de las especificaciones HomePlug. Más de 45 millones de dispositivos HomePlug se han desplegado nivel mundial. La Universal Powerline Association, la Alianza HD-PLC, y el UIT-T G.hn también ofrecen una variedad de especificaciones para redes domésticas por líneas eléctricas.

HomePlug Green PHY se ha establecido como el estándar de Estados Unidos para AMI, respuesta a la demanda, electrodomésticos inteligentes, hogares inteligentes y otras aplicaciones HAN. Además, IEEE P1905 es un grupo de trabajo para una "red doméstica convergente digital". Esto integra comunicación P1901 con otros estándares como IEEE 802.x para las comunicaciones basadas en IP arbitrarios con la red, dispositivos, incluidos vehículos y edificios en el que los dispositivos consumen energía y es facturada al propietario.

Tecnologías inalámbricas o Wireless

Las tecnologías inalámbricas permiten movilidad debido a la ausencia de cableado entre el transmisor y el receptor. A continuación la tabla II.2 describe los tipos de tecnologías inalámbricas usadas en medición inteligente así como características y detalles técnicos.

Tecnología	Medio	Espectro	Tasa	Cobertura	Aplicaciones
ZigBee	Radio frecuencia	868-915 MHz, 2.4 GHz	20-250 Kbps	10 m - 1.5 km	HAN, AMI.
Z-wave	Radio frecuencia	800/900 MHz, 2.4 GHz	9.6-40 Kbps	1 m – 70 m	HAN, AMI
Wi-Fi	Radio frecuencia	2.4 GHz, 5 GHz	11-248	30 m – 100m	HAN, AMI

			Mbps		
Home Plug	Cableado eléctrico	20-200 kHz	14-200 Mbps	200m	HAN
ITU-T G.hn	Cable coaxial, línea telefónica, cable eléctrico	195.31 kHz 48.82 kHz 24.41 kHz	Sobre 1 Gbps	N/A	AMI, Detección de fraude
Ethernet	Par trenzado	Desde decenas de MHz hasta decenas de GHz	10 Mbps a 1 Gbps	100m	HAN
GSM	Radio frecuencia	900-1800 MHz	Hasta 14.4 Kbps	1 - 10 Km	AMI, HAN, RD
GPRS	Radio frecuencia	900-1800 MHz	Hasta 170 Kbps	1 - 10 km	AMI, HAN, RD
3G	Radio frecuencia	1.92 – 1.98GHz 2.11 – 2.17GHz	384 Kbps – 2 Mbps	1 - 10 km	AMI, HAN, RD
WiMAX	Radio frecuencia	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz.	Hasta 75 Mbps	10-50 Km 1-5 Km	AMI, HAN, RD

Tabla II.2 Comparación de las tecnologías de comunicación para medición inteligente. [22]

Celular

Una manera de cumplir los requisitos para NAN es a través de la comunicación celular. La comunicación celular es fácil de instalar, e incurre en un costo bajo de mantenimiento. La cobertura es excelente ya que se encuentra extendida en el territorio nacional y por lo tanto no se requieren esfuerzos adicionales para las instalaciones. La tecnología celular es también una solución competitiva de precios ya que aprovecha la cantidad de dispositivos existentes.

	Estándar	Tecnología	SMS	Conmutación de voz	Conmutación de datos
1G	AMPS, ETACS	Análoga	No	Circuitos	Circuitos
2G	GSM, CDMA, EDGE, GPRS	Digital	Si	Circuitos	Paquetes
3G	UMTS, CDMA2000, HSPA, EVDO	Digital	Si	Paquetes	Paquetes
4G	LTE, WiMax	Digital	Si	Paquetes	Paquetes

Tabla II.3 Evolución celular [23]

La comunicación celular está ampliamente difundida. Se pueden clasificar en GSM (sistema global para comunicaciones móviles) y CDMA (acceso múltiple por división de código). Cada tecnología se implementa en diferentes aplicaciones

basándose en el rendimiento. Las variantes de GSM son GPRS (servicio general de radio por paquetes), EDGE (velocidades de datos mejoradas para la evolución de GSM) y HSDPA / UMTS, mientras que las variantes de CDMA son cdmaOne, CDMA 2000 / 1xRTT y EV-DO.

La cuarta generación (4G) de estándares de comunicaciones móviles es un sucesor de los estándares de tercera generación (3G). Un sistema 4G ofrece acceso móvil a internet de banda ancha para teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles. La tecnología 4G se refiere a las IMT-Avanzadas (Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas), tal como se define por el UIT-R. Un sistema celular IMT-Advanced debe tener velocidades de datos pico de hasta aproximadamente 100Mbps para alta movilidad como acceso móvil y hasta aproximadamente 1Gbps de baja movilidad, traspasos suaves través de redes heterogéneas y la capacidad para ofrecer alta calidad de servicio para el soporte multimedia de última generación. La generación (4G) de redes móviles está normada por: LTE-Advanced (LTE-A) estandarizado por el 3GPP y WiMAX 2 (802.16m) estandarizada por el IEEE.

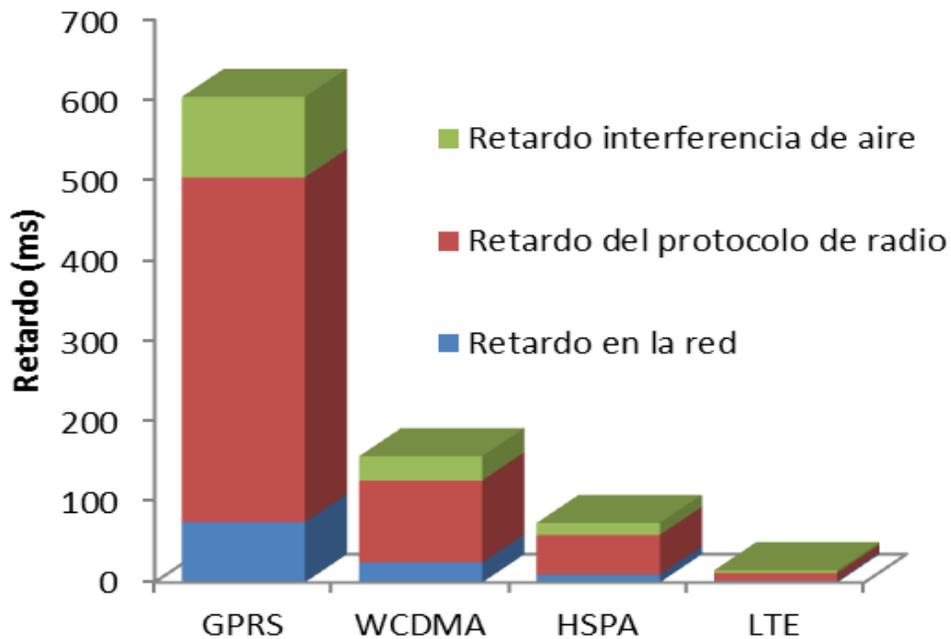


Figura II.6 Tiempo de ida y vuelta para la transmisión de pequeños paquetes de datos

Fuente: [19] L. T. Berger and K. Iniewski, "Smart Grid Applications, Communications, and Security." New Jersey: John Wiley, 2012, p. 488.

La figura II.6 muestra el tiempo de retardo en la transmisión y recepción de pequeños paquetes de datos, GPRS presenta un retardo de 604 (ms), WCDMA presenta retardos de 157(ms), HSPA presenta retardos de 74 (ms), LTE presenta retardos de 15 (ms).[24]

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es un estándar que especifica la capa PHY y MAC para redes inalámbricas de área personal de baja potencia (LR-WPAN). Es la base para muchas tecnologías LR-WPAN como el ZigBee, ISA 100.11a, MiWi, WirelessHART, cada uno de los cuales se extiende aún más el estándar mediante el desarrollo de las capas superiores. Además, se puede utilizar con 6LoWPAN y otras redes como redes inteligentes con IEEE 802.15.4g.

ZigBee

ZigBee es un protocolo completo, utilizando el estándar IEEE 802.15.4 para sus dos capas más bajas. Productos ZigBee son certificados por la ZigBee Alliance, que es una alianza de la industria de más de 230 empresas. ZigBee incorpora enrutamiento y capacidades automáticas de formación de red, lo que permite el establecimiento de redes en estrella y malla para proporcionar comunicación entre dispositivos. Señales de ZigBee se realizan en el rango de frecuencias de 2.4 GHz y pueden viajar hasta 100 metros en un ambiente al aire libre y hasta 10 metros en interiores. Productos ZigBee se dirigen a los mercados de automatización del hogar, control industrial gestión de la energía y el cuidado de la salud personal.

La pila de protocolo ZigBee se compone de cuatro capas principales: la capa de aplicación (APL), la capa de red (NWK), la capa MAC y la capa PHY. Las capas de APL y NWK se definen por la especificación ZigBee, mientras que las capas PHY y MAC son definidos por el IEEE 802.15.4 estándar.

Los principales beneficios de la tecnología ZigBee son: es un estándar IEEE abierto, la señal de portadora puede alcanzar hasta 300 pies en un ambiente al aire libre y hasta 30 pies en un ambiente interior, que puede soportar más de 64.000 dispositivos, es un protocolo fiable, e incluye funcionalidades de seguridad (integridad, encriptación, gestión de claves). También tiene algunas deficiencias, a saber, que el uso de ZigBee del 2,4 GHz puede causar interferencia con las redes

WiFi existentes y dispositivos domésticos basados en ZigBee pueden no ser compatibles entre diferentes empresas.[21]

ISA 100.11a

ISA 100.11a es un estándar de tecnología de red inalámbrica desarrollada por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA). La especificación ISA 100.11a define capa superior (APP y NWK), mientras que MAC y capas PHY se definen como en IEEE 802.15.4. Está dirigido a la LAN en automatización de fábricas y la construcción. El estándar ISA 100.11a incluye enlaces de radio, así como enlaces a través de Ethernet y buses de campo.

MiWi

MiWi es protocolo inalámbrico patentado, que utiliza baja potencia basados en el estándar IEEE 802.15.4 para WPAN. Está diseñado para bajas velocidades de transmisión de datos y de corta distancia, redes de coste limitado, como el monitoreo y control industrial, hogar y construcción de automatización, control remoto, control de la iluminación y la lectura automática de contadores.

WirelessHART

WirelessHart es un estándar abierto aprobado para WSNs diseñados principalmente para los sistemas de automatización y control de procesos industriales. El protocolo soporta la operación bajo la ISM de 2,4 GHz utilizando el estándar IEEE 802.15.4. Desarrollado como un multi-proveedor, estándar inalámbrico interoperable, WirelessHART se definió para las necesidades de las redes de dispositivos de campo proceso. El protocolo utiliza auto-organización, y la arquitectura de malla con tiempo sincronizado. En abril de 2010, WirelessHART fue aprobado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), por lo que es la primera norma internacional IEC 62591 inalámbrica.

6LoWPAN

El grupo de trabajo IETF IPv6 sobre baja potencia PAN inalámbrica (6LoWPAN) ha definido el formato de trama y varios mecanismos necesarios para la transmisión de paquetes IPv6 en la parte superior de redes IEEE 802.15.4. Funciona en bandas de RF 800/900 MHz y 2,4 GHz. Se apunta para aplicaciones de redes IP con capacidad de comunicación de radio de baja potencia que

necesitan conectividad inalámbrica a Internet con velocidades de datos más bajas para los dispositivos con factor de forma muy limitada; por lo tanto, no necesita gateway para la traducción a internet.

Los principales beneficios de 6LoWPAN son los siguientes: implica una red masivamente escalable como una parte de extremo a extremo de la internet; es aplicable a cualquier dispositivo de baja potencia, baja tasa de radio inalámbrica; no necesita gateway traducción para la conectividad a internet y proporciona conexión extremo a extremo de direccionamiento, la seguridad, la movilidad, la multiplexación del tráfico, la reutilización, el mantenimiento, y servicios web.

IEEE 802.15.4.g (SUN)

En un esfuerzo por promover los estándares abiertos para el cuidado del medio ambiente y para cumplir con regulaciones específicas en un entorno global de despliegue de redes inteligentes de una manera escalable y rentable, el IEEE 802.15.4g crea (SUN), redes utilitarias inteligentes, para crear una enmienda PHY a 802.15.4 proporcionando un estándar global que facilita aplicaciones muy grandes de control de procesos a gran escala, como la red de redes inteligentes capaz de soportar grandes longitudes geográficas y diversas redes, con infraestructura mínima, potencialmente se puede conectar millones de puntos finales fijos.

Recientemente, el estándar de radio IEEE 802.15.4g añade compatibilidad PHY para SUN IEEE 82.15.4 -2011 para apoyar soluciones de malla RF. Además, la enmienda también define modificaciones MAC necesarios para apoyar su ejecución. El SUM PHY soporta velocidades de datos múltiple en bandas que van desde 450 hasta 2450 MHz y trabajan en uno de estos tres modos: por división ortogonal de frecuencia de multiplexación (MR-OFDM), multi-velocidad y multi-regional compensar cuadratura de fase manipulación por desplazamiento (MR-O-QPSK), y multi-velocidad y el cambio de frecuencia multi-regional tecleando (MR-FSK).

Z-Wave

Z-Wave es un estándar inalámbrico que utiliza redes de malla para establecer y mantener la conexión entre los dispositivos. Malla red permite que las señales se

repite a través de varios dispositivos hasta que llega al dispositivo del hogar automatizado. El resultado es que las redes Z-Wave se vuelven más fiables a medida que crecen en tamaño. El límite de distancia para una señal de Z-Wave es de 100 pies al aire libre. A través de paredes el límite se reduce a aproximadamente 50 pies. Z-Wave utiliza la gama de frecuencias 800/900 MHz por lo que no interfiere con otros protocolos inalámbricos 802.11. Sin embargo, la serie Z-Wave 400 se basa en 2,4 GHz.

Z-Wave fue originalmente diseñado para aplicaciones residenciales. Todos los módulos de Z-Wave son producidos por un solo fabricante llamado Zensys. Z-Wave está dirigido por la Z-Wave Alliance, que prueba y fabrica dispositivos Z-Wave seguro y construido para interoperar entre diferentes empresas.

Los principales beneficios de Z-Wave son: es más simple que ZigBee; la señal inalámbrica y RF puede viajar a través de la pared y a distancias más largas en comparación con aquellas señales que utilizan la banda de 2,4 GHz. La mayoría de los dispositivos Z-Wave no interfieren con otras señales inalámbricas (especialmente WiFi, Bluetooth y ZigBee, que funcionan a 2,4 GHz); Alianza Z-Wave hace que los dispositivos Z-Wave sean seguros, producidos por diferentes fabricantes brindando interoperabilidad, el coste es barato. Sin embargo sus deficiencias son: propiedad exclusiva y no de fuente abierta, hay un límite de distancia inalámbrico 30m en interiores, 100m al aire libre, las señales no están cifradas, lo que podría causar problemas a los comandos de seguridad en serie 200/300, Z-Wave la serie 400 utilización 128 bit AES, y se limita a 232 dispositivos únicos.[21]

CAPÍTULO III

III. COMUNICACIÓN ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES

El presente capítulo muestra la parte práctica del proyecto iniciando por la selección de la tecnología para la transmisión de información. Se detalla la obtención de datos de los medidores eléctricos así como los procedimientos que permiten la interoperabilidad entre medidores eléctricos inteligentes y el concentrador con el uso de módulos como Arduino mega 2560, GSM 900 y el circuito de rectificación. Describe la programación del software de monitoreo y control que simula la empresa eléctrica y la programación en los medidores de los abonados.

3.1 Análisis de los medios para comunicación entre los medidores inteligentes

En este subcapítulo se analizan los medios de transmisión guiados o alámbricas y no guiados o inalámbricas que constituyen la trayectoria entre el medidor y el concentrador.

Medios guiados

Los medios guiados de transmisión conocidos como hardwire, transmiten las señales en forma de impulsos eléctricos o lumínicos a través de conductores que puede ser metálicos en el caso de transmitir electricidad, plástico y vidrio en el caso de transmitir señales lumínicas.

Los concentradores y medidores eléctricos inteligentes poseen en su hardware infraestructura que permite la comunicación por medio de conductores guiados por ejemplo Ethernet, fibra óptica, RS-232, USB, etc.

La ventaja de los medios guiados de cobre es su costo, ya que solamente es necesario dos hilos, se puede usar tanto para transmisiones análogas como digitales. Se debe tener en cuenta que es un medio muy susceptible a ruido e interferencia por efectos del campo magnético. La atenuación depende de la frecuencia y la distancia y está en el orden de decenas a centenas de dB/Km.

La fibra óptica transmite información mediante pulsos de luz que viajan a través del núcleo de vidrio o plástico. La fibra óptica es inmune al ruido y a la

interferencia electromagnética y estática, la atenuación es pequeña en el orden de décimas a unidades dB/Km. El ancho de banda de la fibra óptica se encuentra en el orden de los THz lo que permite tener velocidades de transmisión de Tbps.

El presente proyecto utiliza cobre en la conexión del módulo GSM 900 y el software Labview, la comunicación es vía USB "Universal Serial Bus". Fibra óptica es utilizada entre las estación base de telefonía celular y la oficina central.

Medios no guiados

Los medios no guiados o software permiten comunicación sin cable o inalámbrica, las ondas electromagnéticas son transportadas a través del aire cubriendo zonas inaccesibles o grandes distancias. Utiliza transmisión con portadora (modulación), las ondas electromagnéticas que se propagan son altamente dependientes de la frecuencia.

La transmisión vía radio usa las bandas de VLF, LF, MF, HF y VHF, las ondas de radio son fáciles de generar, viajan a grandes distancias y penetran fácilmente los edificios. Son omnidireccionales y las ondas siguen la superficie de la tierra.

Selección de medio y tecnología

En el presente proyecto se ha descartado la posibilidad de utilizar radio frecuencia o RFID para sistemas AMI, debido al ID o identificador del fabricante ya que es propietario siendo necesario la instalación de medidores y concentradores de la misma marca porque es muy complicado adquirir el ID. El costo de implementación y mantenimiento es elevado ya que es necesario colocar infraestructuras como concentradores, transmisores, receptores cada 15 metros, siendo esta la distancia efectiva en la cual se puede adquirir información del medidor, los gastos de mantenimiento deben ser cubiertos por los abonados por lo que resulta poco atractivo para el consumidor.

Para la implementación de AMI utilizando medios no guiados se ha seleccionado GSM/GPRS, el mismo que utiliza el espectro de frecuencia de 900Mhz llegando a tasas de datos de 170 kbps, brindando alta confiabilidad, bajos costos de mantenimiento, rentabilidad, interoperabilidad, vida útil, seguridad, mínimo consumo de energía y bajos costos de implementación. La principal ventaja de utilizar GSM/GPRS es la masificación del acceso que se encuentra en el país con

un alto índice de penetración evitando incurrir en costos adicionales como construcción de torres, radio bases, enlaces de fibra óptica.

3.2 Adquisición de datos de los medidores de energía eléctrica

La Universidad Politécnica Salesiana cuenta con tres medidores de diferentes fabricantes, los medidores inteligentes han sido donados por parte de la empresa eléctrica pública de Guayaquil. A continuación se detallan las marcas y los modelos de los medidores:

Marca	Modelo
General electric	Trilliant
Itron	Centron
Elster	R2SD

Tabla III.1 Medidores donados a la UPSQ

El medio de comunicación de los medidores con el concentrador es inalámbrico y utilizan RFID en la banda de frecuencia de 902 MHz hasta los 928 MHz. La figura III.1 muestra el resultado del estudio de uso del espectro electromagnético por medio del analizador de espectro FieldFox RF analizando el medidor inteligente marca ELSTER. La información del medidor se envía en cualquier canal de la banda de 900 MHz.

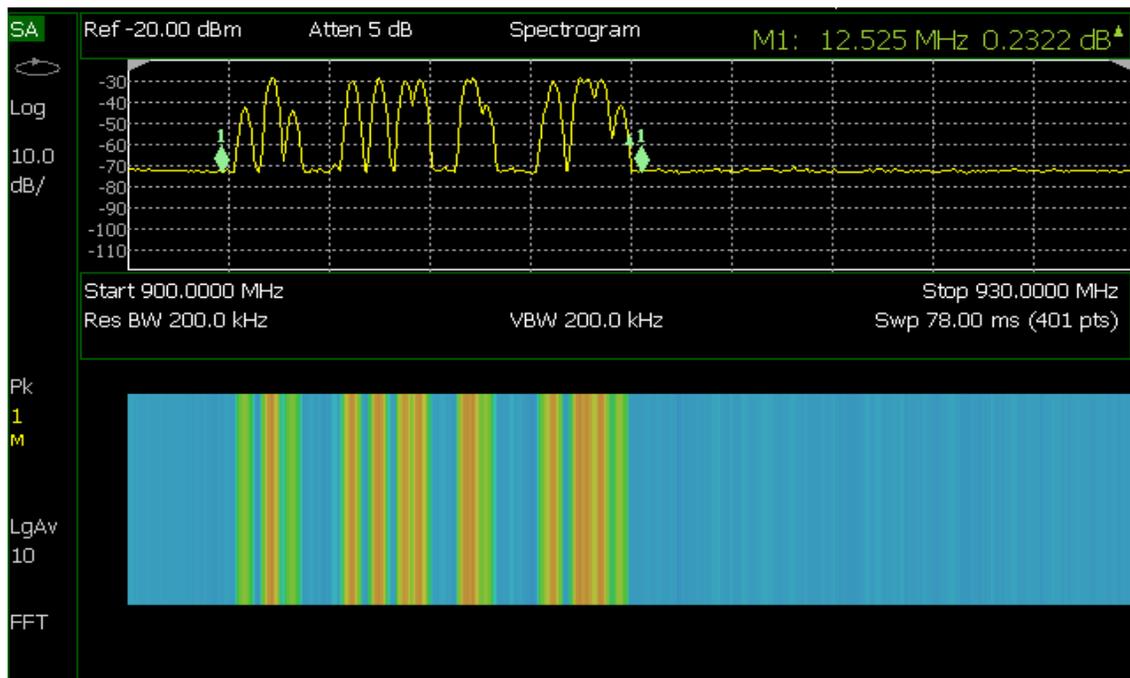


Figura III.1 Análisis de uso del espectro electromagnético medidor ELSTER.

Por medio del analizador de espectro se obtiene datos como la potencia de transmisión, en el gráfico III.2 se evalúan las muestras de la potencia transmitida. La potencia se expresa en dbm y el analizador FieldFox determina una potencia de recepción de -28,68 dbm con una atenuación de 5 dB, la potencia real de transmisión es de -23,68 dbm o 4,29 uw. Utilizando canales de 750 kHz con una capacidad del canal para transmitir información de 10,3 Mbps.

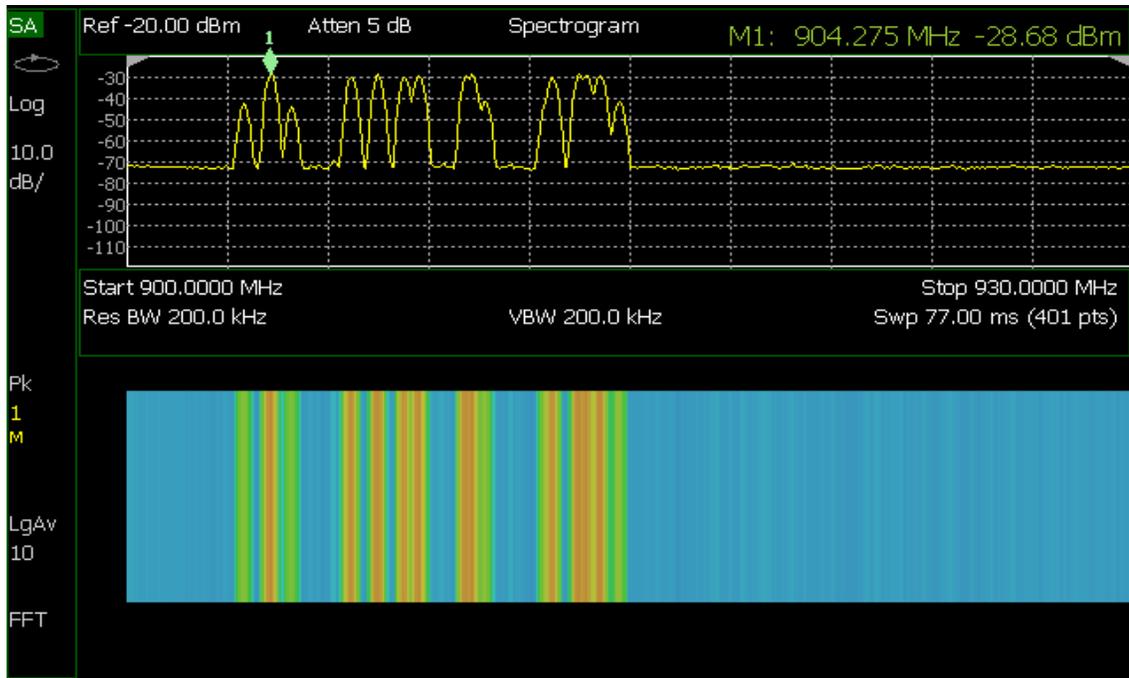


Figura III.2 Pico de potencia medidor Elster.

El gráfico III.3 muestra el análisis de uso del espectro electromagnético del medidor inteligente marca ITRON. Los datos enviados pueden ser en cualquier canal de la banda de 902 MHz a 928 MHz. Una de las funciones del analizador de radio frecuencia FieldFox es que permite determinar el pico de potencia más elevado y las bandas de frecuencia en las cuales recibe información de los medidores eléctricos inteligentes.

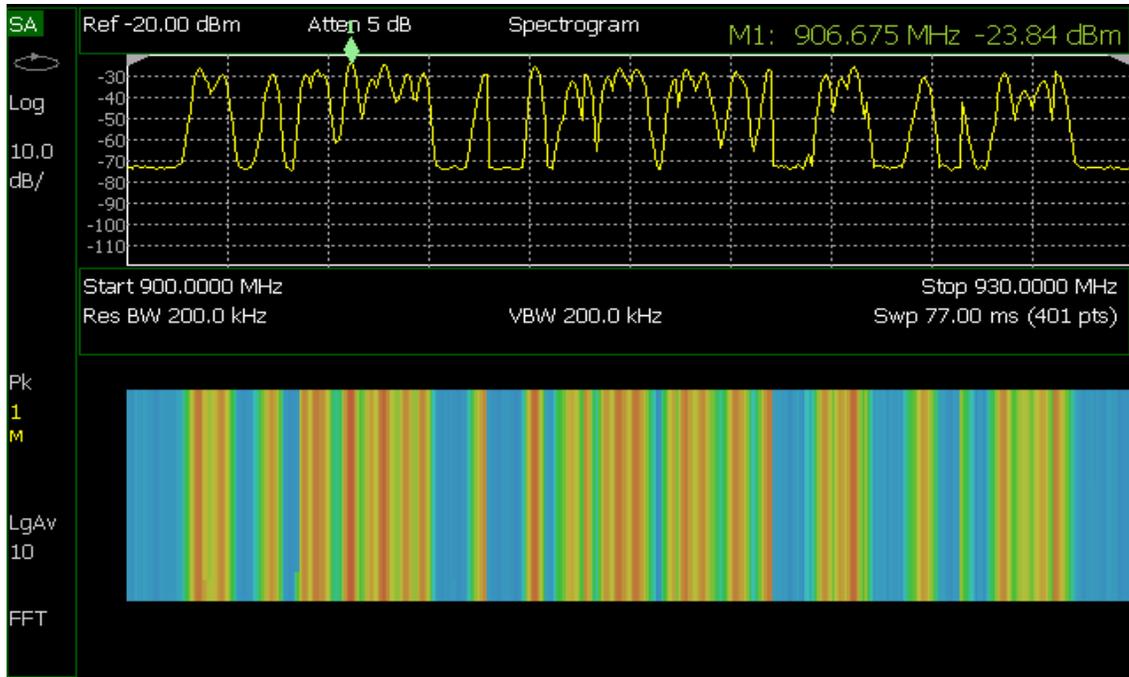


Figura III.3 Análisis de uso del espectro electromagnético medidor Itron.

Por medio del analizador de espectro se obtiene datos como la potencia de transmisión, en el gráfico muestra que la potencia transmitida es de -23,84 dBm y al tener una atenuación de 5 dB, la potencia real de transmisión es de -18,84 dbm o 13 uw. Utilizando canales de 750 kHz con una capacidad del canal para transmitir información de 11,5 Mbps.

La tabla III.2 presenta el resumen de datos obtenidos del analizador de espectro FieldFox realizado a los dos medidores inteligentes.

MARCA SM	CANAL [MHz]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [uw]	CAPACIDAD DEL CANAL [Mbps]
ELSTER	750	-23,68	4,29	10,3
ITRON	750	-18,84	13	11,5

Tabla III.2 Resumen radio frecuencia medidores Itron y Elster.

La adquisición de los datos se realiza tomando la señal del transformador de corriente de los medidores, las señales de voltaje varían de 0v a 5v, estas señales son alternas, deben ser tratadas y transformadas a continuas. Las señales analógicas son digitalizadas para poder almacenarlas y enviarlas al concentrador.



Figura III.4 Interior del medidor Elster

Fuente: [25] I FIXIT, "Elster REX2 Smart Meter Teardown," 2015. [Online]. Available: <https://d3nevzfk7ii3be.cloudfront.net/igi/Z5iQShUkM6tyQatE>. [Accessed: 25-Feb-2015].

La figura III.4 presenta la parte interna del medidor Elster, el mismo que posee un transformador de corriente, dada la configuración el medidor puede medir dos fases del suministro eléctrico con un solo TC. La flecha blanca en la figura indica la ubicación del TC.

General Electric

La figura III.5 presenta la parte interna del medidor General Electric, el mismo que posee dos transformadores de corriente permitiendo medir dos fases del suministro eléctrico. Las flechas blancas en la figura indican la ubicación de los TCs.

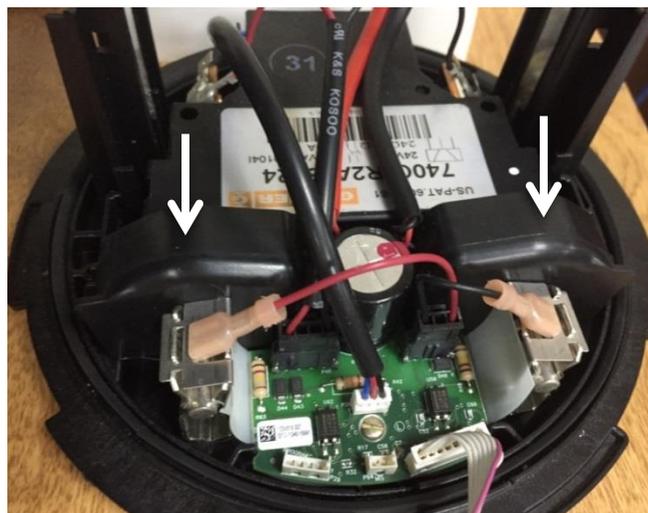


Figura III.5 Parte interna medidor General Electric

Se realiza la toma de ocho muestras del medidor General Electric, a través de las señales del transformador de corriente. La figura III.8 muestra la conexión del TC al circuito electrónico de rectificación.

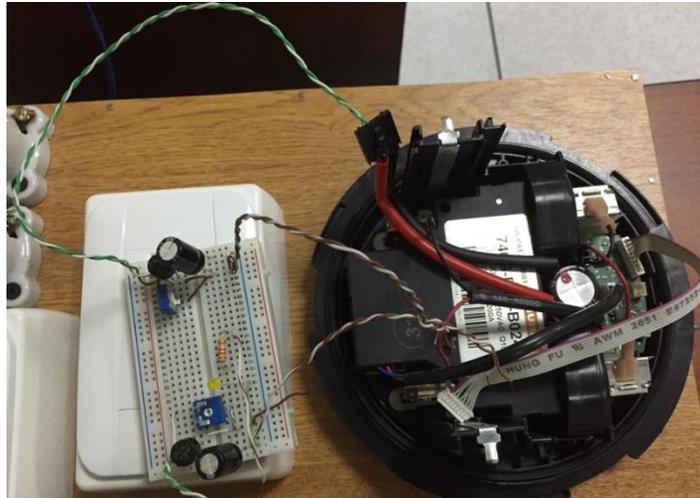


Figura III.6 Toma de datos medidor General Electric

Las muestras permiten parametrizar y verificar la exactitud de la medición. La tabla III.3 muestra la diferencia entre el equipo FLUKE 43B “Power Quality Analyzer” y la medición obtenida por el módulo arduino mega 2560 dependiendo de la potencia consumida.

Potencia instalada [w]	Medidor Fluke [w]	Medición Arduino [w]
0	0	0
20	10	10
100	60	55
120	70	70
200	120	125
220	130	140
300	180	200
320	200	210

Tabla III.3 Medidas realizadas por Fluke 43B y Arduino mega 2560

Como resultado de los análisis se demuestra que la exactitud de la medición con el medidor General Electric y el módulo arduino es del 95% respecto al fluke 43B. La figura III.7 muestra la diferencia entre los dos dispositivos utilizados para analizar el consumo eléctrico.

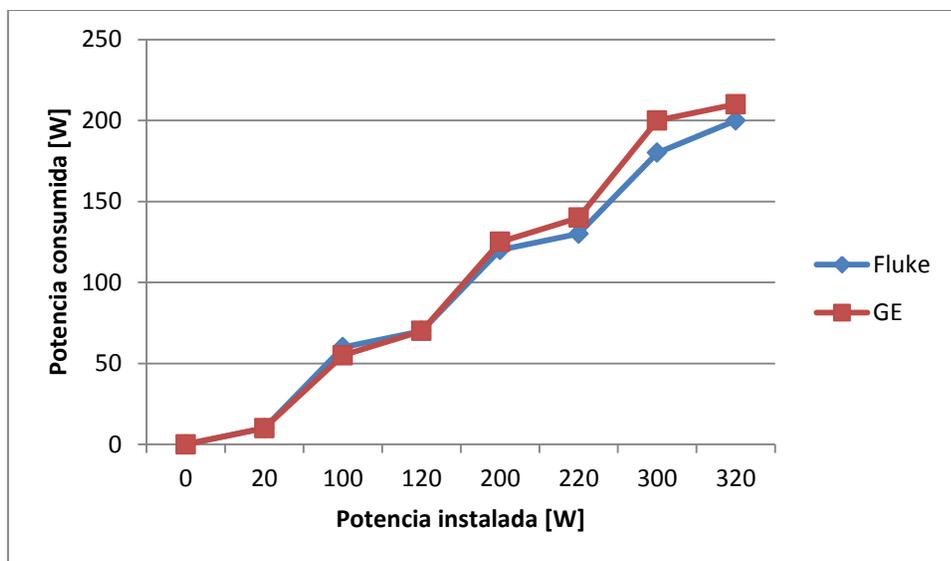


Figura III.7 *General Electric vs Fluke*

La tabla III.4 detalla los valores obtenidos a la salida del TC en voltaje alterno y su respectiva conversión a voltaje continuo como referencia se toma la misma potencia instalada.

Potencia instalada [w]	VAC salida del TC [v]	VDC [v]
0	0,036	0
20	0,765	0,025
100	1.125	0,068
120	1,150	0,082
200	1.268	0,137
220	1.291	0,153
300	1.384	0,209
320	1.402	0,223

Tabla III.4 *Voltaje AC y DC emitida por el medidor General Electric*

La tabla III.5 describe el valor digitalizado del voltaje continuo después de pasar por los respectivos pasos de muestreo, cuantificación y codificación para convertir señales análogas a digitales.

Potencia consumida [w]	Potencia digitalizada a 10 bits
0	0
10	1-2
55	11
70	13-14
125	24-25
140	27-28

200	38-39
210	40-41

Tabla III.5 Valor digital de potencia

Itron

La figura III.8 presenta la parte interna del medidor General Electric, el mismo que posee dos transformadores de corriente permitiendo medir dos fases del suministro eléctrico. La flecha blanca en la figura indica la ubicación del TC.

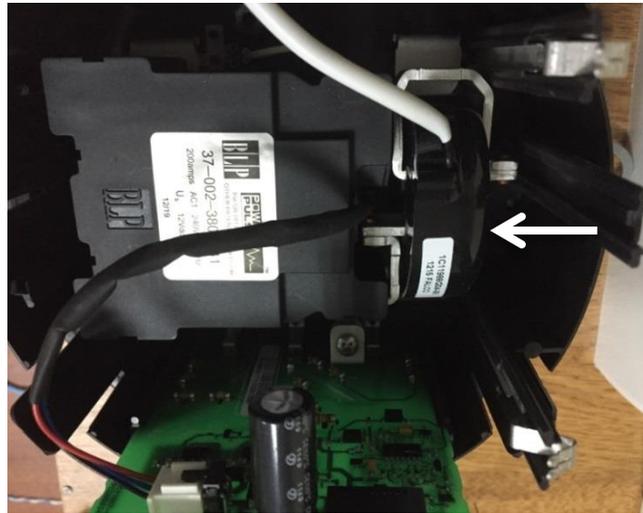


Figura III.8 Parte interna medidor Itron

Se realiza la toma de ocho muestras del medidor Itron, a través de las señales del transformador de corriente. La figura III.9 muestra la conexión del TC al circuito electrónico de rectificación.

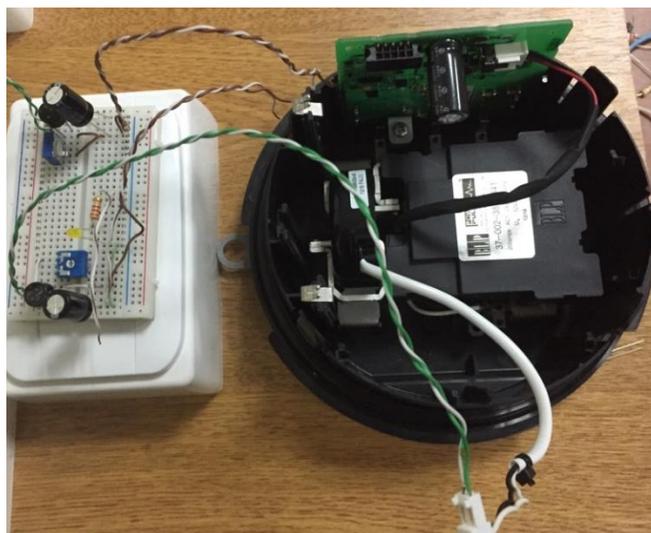


Figura III.9 Toma de datos medidor Itron

Las muestras permiten parametrizar y verificar la exactitud de la medición. La tabla III.6 presenta la diferencia entre el equipo FLUKE 43B “Power Quality Analyzer” y la medición obtenida por el módulo arduino mega 2560 dependiendo de la potencia consumida.

Potencia instalada [w]	Medidor Fluke [kW]	Medición Arduino [w]
0	0	0
20	0,01	10
100	0,05	55
120	0,06	75
200	0,11	150
220	0,12	180
300	0,18	260
320	0,20	280

Tabla III.6 Medidas realizadas por Fluke 43B y Arduino mega 2560

Como resultado de los análisis se demuestra que la exactitud de la medición con el módulo arduino es del 72% respecto al fluke 43B, la variación de la exactitud depende de la linealidad del TC. La figura III.10 muestra la diferencia entre los dos dispositivos utilizados para analizar el consumo eléctrico por un lado el arduino mega 2560 y por el otro el fluke 43B.

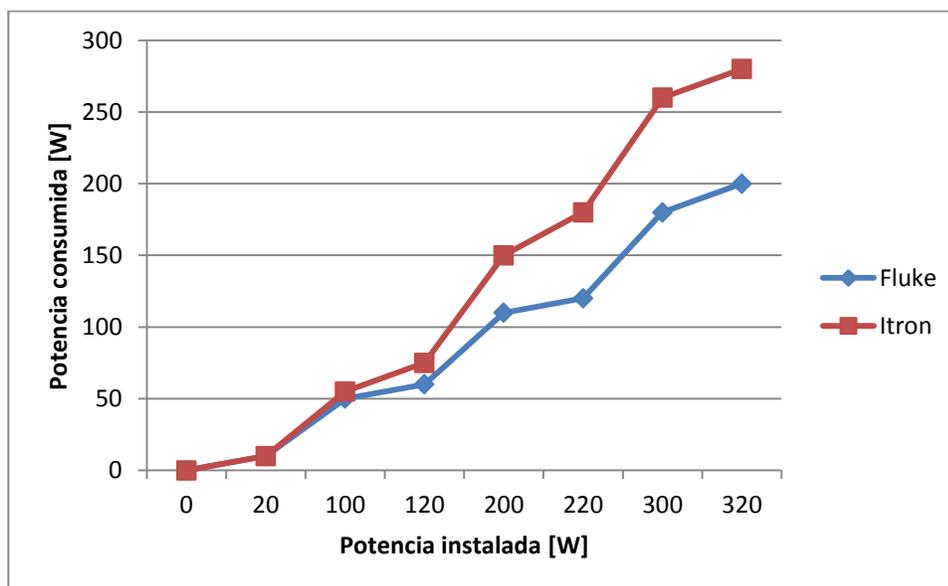


Figura III.10 Itron vs Fluke

La tabla III.7 detalla los valores obtenidos a la salida del TC del medidor Itron. Las señales que emite el TC son en voltaje alterno, se presenta además la respectiva conversión a voltaje continuo como referencia se toma la potencia instalada.

Potencia instalada [w]	VAC salida del TC [v]	VDC [v]
0	0,013	0
20	0,362	0,024
100	1.068	0,064
120	1,105	0,086
200	1.302	0,165
220	1.330	0,188
300	1.475	0,270
320	1.503	0,292

Tabla III.7 Voltaje AC y DC emitida por el medidor Itron

La tabla III.8 describe el valor digitalizado del voltaje continuo después de pasar por los respectivos pasos de muestreo, cuantificación y codificación para convertir datos análogos a digitales.

Potencia consumida [w]	Potencia digitalizada a 10 bits
0	0
10	2
55	10-11
70	14-15
125	31-32
140	35-36
200	53-54
210	57-58

Tabla III.8 Valor digital de potencia

3.3 Comunicación entre medidores inteligentes de diferentes marcas

Al no conocer el identificador de radio frecuencia de cada fabricante, la interoperabilidad por radio frecuencia se descarta y se buscan nuevas opciones para el envío de datos como comunicaciones GSM/GPRS entre los medidores y los concentradores. El siguiente esquema representa el diagrama de bloques que permite la interoperabilidad entre medidores de diferentes fabricantes.

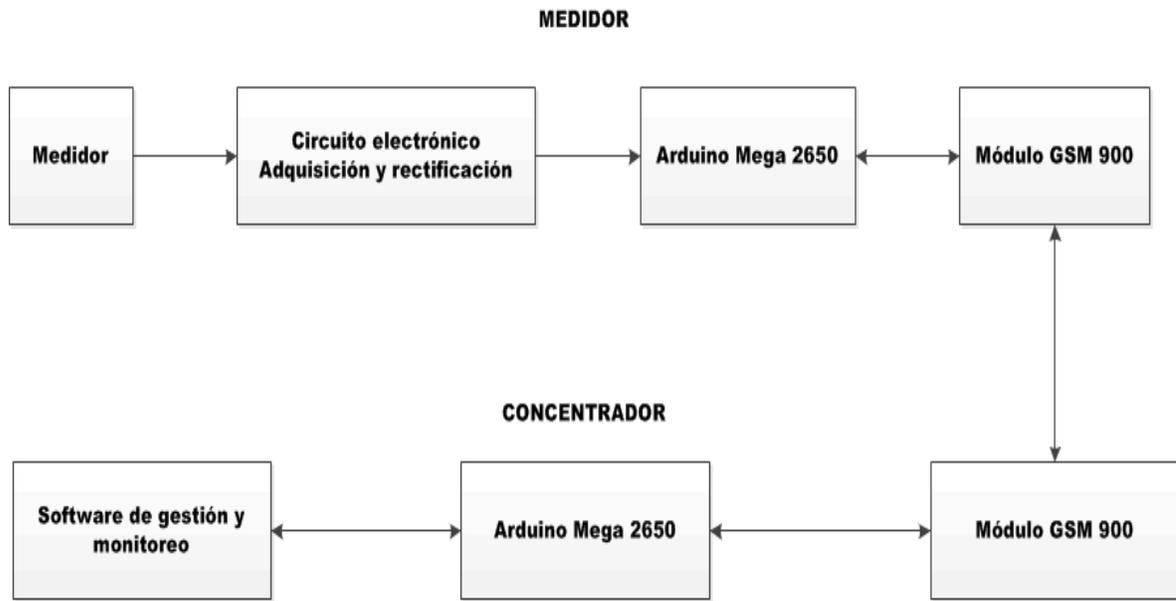


Figura III.11 Diagrama de comunicación entre medidor y concentrador.

Fuente: Milton Ruiz M.

La información de los medidores de electricidad se adquiere de los TC y se envía a un circuito electrónico que rectifica la onda sinodal eliminando el rizado.

Mediante el módulo Arduino Mega 2560 se realiza la digitalización de la señal análoga ingresada muestreando, cuantificando y codificando a diez bits. Una vez digitalizados los datos, el módulo GSM-900 se mantiene en espera de mensajes de texto, los mensajes solicitan la información de energía, potencia, información del medidor los mismos que se envían a través del módulo GSM900 al concentrador.

El concentrador cuenta con un módulo GSM-900, por medio del módulo Arduino se envía la información al software de gestión y monitoreo. La comunicación entre los medidores eléctricos inteligentes se realiza en el concentrador, el concentrador almacena toda la información de los diferentes medidores y permite la interacción entre los mismo permitiendo un control remoto y actuar independiente de la marca y modelo del medidor. A continuación se presenta el módulo arduino 2560 con el shield GSM-900.

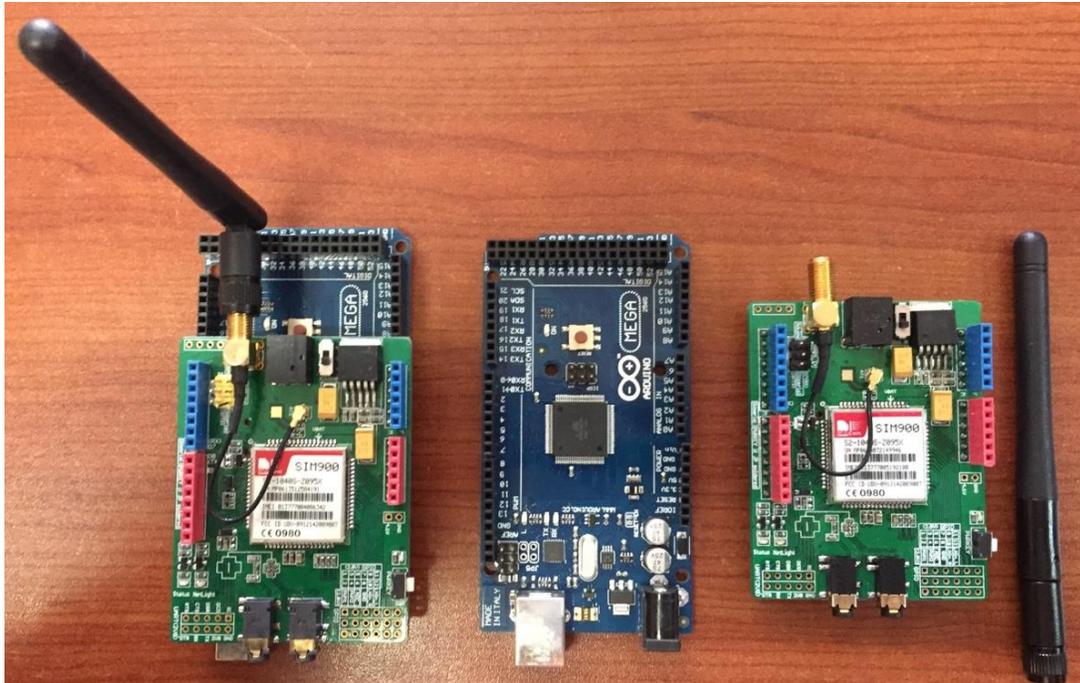


Figura III.12 Arduino mega 2560 y Shiel GSM 900

3.4 Desarrollo de software aplicado a la interoperabilidad

El software elegido para realizar la interoperabilidad ha sido Labview. Los parámetros establecidos que se mostraran a los usuarios en el panel frontal son energía, potencia, botones de consulta a cerca del dispositivo, botón de corte y reconexión. En el diagrama de bloques se realiza la adquisición de los datos de la tarjeta Arduino 2650 conectada a la computadora vía USB, la comunicación es bidireccional permitiendo enviar consultas y recibir las respuestas discriminando el mensaje de acuerdo a cada dispositivo.

Labview

La comunicación entre el software de control Labview y el dispositivo de adquisición arduino es vía serial, utilizando un puerto USB tipo A en la computadora y un puerto USB tipo B en el módulo arduino. Los datos se transmiten de manera bidireccional comunicación full dúplex enviando bit a bit la información, típicamente la comunicación serial utiliza el formato ASCII y es necesario tres líneas transmisión, tierra o referencia y recepción. Los parámetros principales que se debe configurar son:

Velocidad de transmisión (baud rate), es el número de bits por segundo que se

transfieren y se mide en baudios. Los ciclos de reloj hace referencia a la velocidad de transmisión o velocidad que el puerto serial realiza el muestreo. Si se utilizan velocidades altas se reduce la distancia entre dispositivos.

Bits de datos.- es la cantidad de bits que se transmiten, el número de bits que se transmiten depende del tipo de información que se transfiere, por ejemplo, ASCII tiene un rango de 0 a 127, utiliza 7 bits, mientras que ASCII extendido utiliza 8 bits.

Bits de parada.- los bits de parada son utilizados para indicar el fin de la comunicación, valores típicos son 1, 1.5 o 2 bits. Los bits de parada no solo indican el fin de la transmisión proporciona además un margen de tolerancia para que los dispositivos puedan sincronizar.[26]

Paridad.- permite verificar si existen errores en la comunicación, existen cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada, espaciada o ninguna. Para paridad par e impar, el puerto serial fija el bit de paridad. Paridad marcada y espaciada no verifica el estado de los bits ya que son fijados en estado lógico alto para la paridad marcada y estado lógico bajo para la paridad espaciada.

En Labview se crea un clúster de cinco elementos, cada elemento es un parámetro necesario para la comunicación, los parámetros son baud rate, data bits, parity, stop bits, flow control. La velocidad de transmisión asignada es 9600 bits por segundo, debido a que el módulo arduino también posee la misma velocidad, se transmitirán 8 bits de datos bajo el formato ASCII extendido, no existe paridad, un bit de parada y sin control de flujo. A continuación se muestra el gráfico de la configuración en Labview.

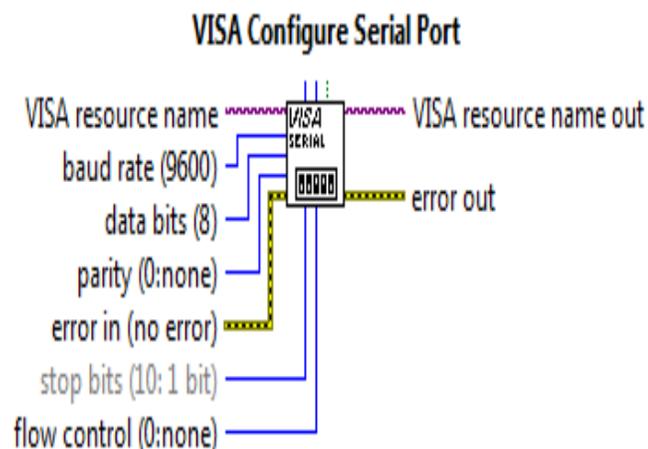


Figura III.13 Configuración parámetros comunicación serial.

La información de la tarjeta Arduino 2560 se envía a Labview mediante VISA SERIAL con los parámetros de comunicación serial previamente establecidos y seleccionando la interface serial presente que va a ser utilizada por Labview para lectura y escritura.

Mediante la estructura while loop configurada para que se ejecute cada 250 milisegundos, tiempo necesario para que lea y escriba sobre el puerto serial se configura un "Case structure", el mismo que permite al accionar un pulsador escribir una palabra o string en el puerto serial que es el código que se envía al smart meter para ejecutar procesos como envío de potencia, energía, información del medidor, prepago de servicio, corte y reconexión. El gráfico III.14 muestra el funcionamiento para enviar la consulta de potencia y energía al medidor eléctrico inteligente.

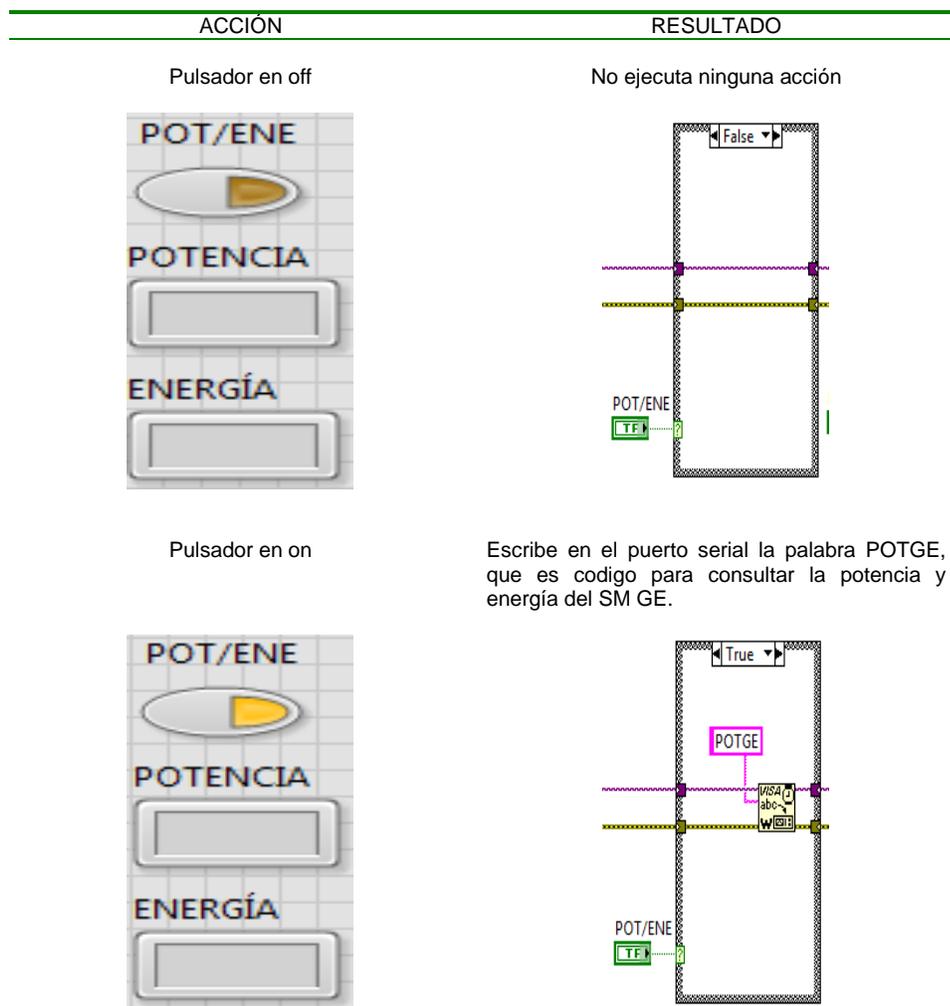


Figura III.14 Consulta de potencia y energía

Se ha programado para que el pulsador en el programa de monitoreo y control permanezca encendido hasta que se confirme que se realizó la acción seleccionada, la respuesta es transferida desde el arduino 2560 una vez que el mensaje ha sido enviado al módulo agente.

Para la lectura del puerto serial se incluye un “Case structure” que permite leer el puerto cada 250 milisegundos y si encuentra información reenvía a los diferentes comparadores, los comparadores adquieren la información y la comparan con códigos hasta encontrar match para realizar una acción dependiendo del dato recibido. El gráfico III.15 muestra la extracción de los datos que envía el agente de potencia y energía.

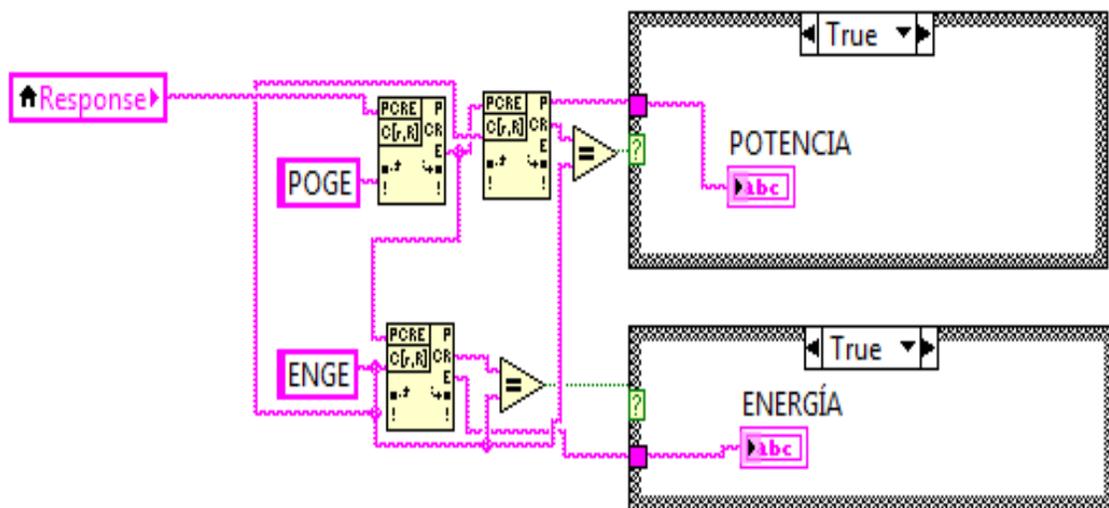


Figura III.15 Recepción de potencia y energía

El panel frontal muestra los cuadros de consulta para los dos medidores eléctricos inteligentes, General Electric como Itron. Se ha puesto énfasis en la consulta de la potencia, energía, información del medidor, prepago del servicio, corte y reconexión. A continuación se muestra en la figura III.16 el panel frontal con las descripciones de cada elemento que lo compone.

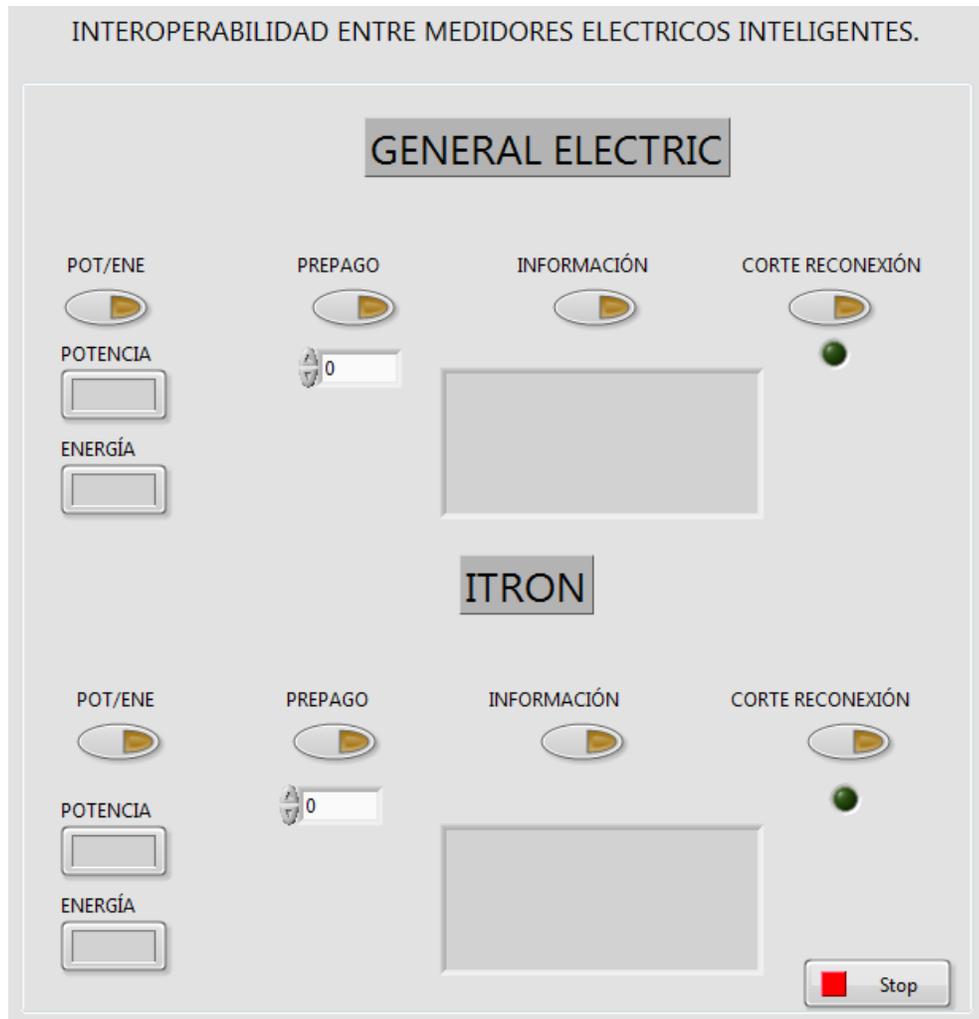


Figura III.16 Panel frontal Labview

Arduino

Para la medición eléctrica inteligente por medio de los módulos arduino 2560 se ha desarrollado dos aplicaciones de software. La primera aplicación es la del concentrador que permite enviar y recibir datos desde el software de monitoreo y control. La segunda aplicación es la que se conecta con los medidores eléctricos inteligentes permitiendo recibir la potencia y la energía consumida.

El lenguaje de programación se llama *Processing*, es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo de código abierto basado en Java. Al iniciar un nuevo programa en Arduino los parámetros básicos a configurar son *void setup* y *void loop*. *Void setup* realiza una llamada a la configuración por una sola vez cuando el dispositivo es encendido, dentro de esta configuración se debe inicializar el puerto serial a la misma velocidad de comunicación con Labview de 9600 bits por

segundo para que no exista incompatibilidad en la comunicación. Se deben configurar las variables que almacenan la potencia, energía y todos los comandos que se envían por mensaje de texto. En *void loop* se realiza la configuración que se realiza continuamente ejemplo leer los puertos seriales para recibir datos y realizar acciones de acuerdo a las peticiones. La potencia se adquiere por medio de una entrada analógica del módulo la misma que es leída cada segundo, el valor digital se lo multiplica por una constante permitiendo tener la potencia consumida. Para el cálculo de la energía se realiza una operación la misma que suma la potencia durante una hora y la divide para 3600 que es la cantidad de segundos que tiene una hora.

$$\text{Potencia} = \text{adc} * \text{cte};$$

$$\text{Energía} = \text{Energía} + \text{Potencia}/3600;$$

Los mensajes de texto tiene como máximo 160 caracteres que pueden ser enviados, los mismos que son codificados a 7 bits, se adiciona al mensaje caracteres propios de la comunicación como son comandos AT como +CMT en mismo que indica que una mensaje ha llegado, seguido del número del celular que lo envía, fecha de envío del mensaje, hora de envío de mensaje y finaliza con el número de caracteres del mensaje. A continuación se muestra el formato que se adjunta al mensaje de texto.

`+CMT: "+59398#####", "", "15/01/23,15:26:13-20"`

Al utilizar el shield de arduino GSM 900 utilizamos la tasa de transmisión GSM que es de 14.4 Kbps, si contabilizamos el número de caracteres que se aumentan al mensaje y sumamos los caracteres del mensaje de texto podemos calcular la velocidad de transmisión del paquete completo. Los caracteres que se aumentan al mensaje son un total de 49, el mensaje promedio enviado con información sobre la medición es de 10 caracteres, sumando los dos da un total de 59 caracteres, cada carácter es codificado a 7 bits lo que da un total de 413 bits. Si realizamos una comparación con la tasa de transmisión de GSM los 413 bits se transmiten en 2,8 milisegundos. La tabla III.9 describe la cantidad de información de bits de relleno y bits de información útil para la medición eléctrica inteligente que son enviados por cada medidor.

Descripción	Número de bits
Bits relleno	343
Información útil	210
Total	553

Tabla III.9 Bits enviados por cada SMS

Con el promedio de bits por mensaje y tomando en cuenta la recomendación de lecturas cada 15 minutos, calculamos la cantidad de información total tomando en cuenta la información útil y la información que se adjunta a los mensajes que enviara el medidor cada hora, día, semana, mes y año. Esta información permite estimar los costos en planes de datos que proveerán las operadoras telefónicas. La tabla III.10 describe la cantidad de información útil en bits que envía un medidor eléctrico inteligente.

Descripción	Número de bits
Hora	280
Día	6.720
Semana	47.040
Mes	188.160
Año	2'257.920

Tabla III.10 Bits enviados por periodo de tiempo

La figura III.17 muestra las lecturas de potencia realizadas en forma simultanea del Arduino 2560 y del analizador de calidad de energía FLUKE 43B.



Figura III.17 Lecturas Arduino vs Fluke 43B

La figura III.18 presenta la lectura de potencia, forma de onda, factor de potencia y frecuencia realizadas por el analizador de calidad de energía FLUKE 43B. Se visualiza que la lectura es de 0.14kW que es igual a 114W.

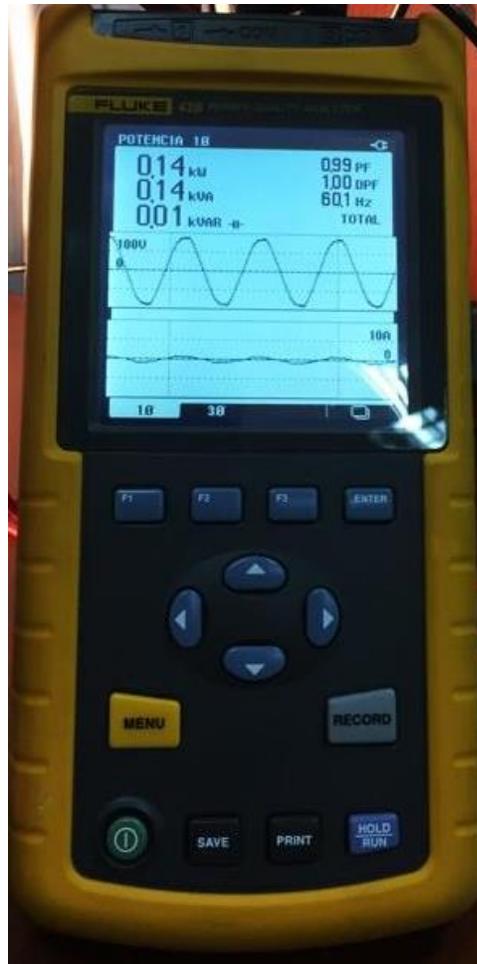


Figura III.18 Lectura Fluke 43B

La figura III.19 presenta la lectura de potencia, energía, tiempo y valor del ADC realizada por el módulo Arduino 2560. Se visualiza que la lectura de potencia es de 140W, la energía aumenta con cada segundo desde 30.70kWh hasta 31.01kWh mientras que el valor del ADC se mantiene entre 27 y 28 que es el valor equivalente a la potencia.

```
POTENCIA 140.00
ENERGIA 30.70
TIEMPO 1458.00
ADC 28
POTENCIA 135.00
ENERGIA 30.74
TIEMPO 1459.00
ADC 27
POTENCIA 135.00
ENERGIA 30.78
TIEMPO 1460.00
ADC 27
POTENCIA 140.00
ENERGIA 30.82
TIEMPO 1461.00
ADC 28
POTENCIA 140.00
ENERGIA 30.85
TIEMPO 1462.00
ADC 28
POTENCIA 135.00
ENERGIA 30.89
TIEMPO 1463.00
ADC 27
POTENCIA 140.00
ENERGIA 30.93
TIEMPO 1464.00
ADC 28
POTENCIA 140.00
ENERGIA 30.97
TIEMPO 1465.00
ADC 28
POTENCIA 135.00
ENERGIA 31.01
TIEMPO 1466.00
ADC 27
```

Figura III.19 *Visualización de lecturas en el computador*

La figura III.20 presenta la recepción de lectura de potencia recibida en el celular vía SMS. Muestra que la potencia es de 145W confirmando que la lectura en el computador y en el analizador de calidad de energía es la misma.



Figura III.20 Recepción de SMS con la medición

La figura III.21 muestra la forma de onda, frecuencia y voltaje del transformador de corriente.

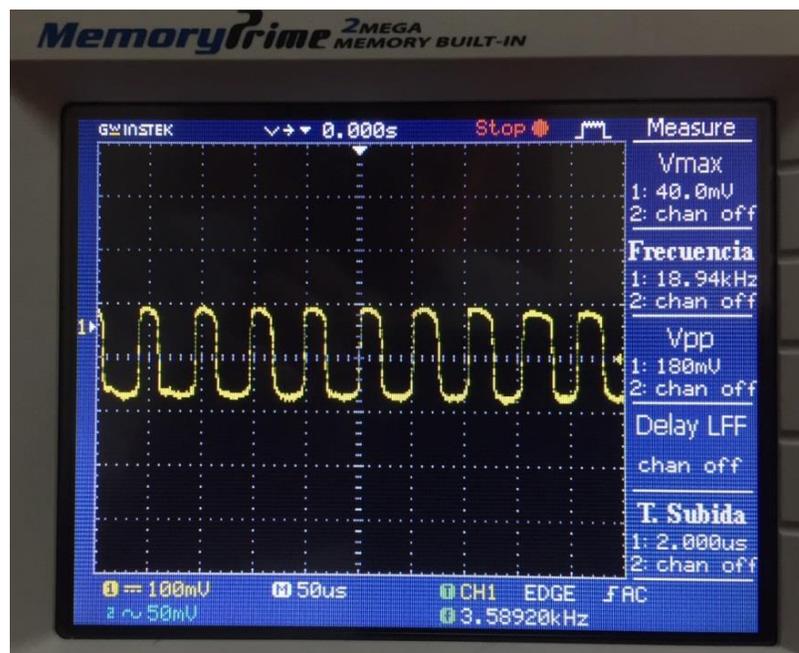


Figura III.21 Forma de onda que entrega el TC.

CAPÍTULO IV

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO Y LEGAL

El presente capítulo detalla la tecnología de mayor rentabilidad para la medición inteligente analizando la factibilidad técnica de implementar módulos adicionales a los medidores ya instalados de los abonados. Se realiza el análisis económico para obtener los indicadores de factibilidad que permiten la toma de decisiones sobre inversión del proyecto de medición inteligente vía mensajes de texto o SMS. Se describe los artículos de la Constitución que inciden en el sector de las telecomunicaciones y las Tics.

4.1 Determinación de protocolos de comunicación con mayor rentabilidad.

Para realizar medición inteligente utilizando RFID es necesario una inversión en concentradores previo a un estudio de las zonas de cobertura, los concentradores adquieren la información de los medidores de la misma marca. Al utilizar radio frecuencia es necesario invertir en elementos de transmisión y recepción conocidos como transponders o transceptores de infraestructura como torres en las que se colocaran los concentradores. Los sistemas RFID se componen de una etiqueta RFID, la misma que identifica los datos del medidor con el abonado, el lector es capaz de adquirir información así como de escribir datos en un sistema de procesamiento.

La mejor opción para la medición eléctrica inteligente en Ecuador es por medio de los servicios móviles, los mismos que prestan servicio en el país desde 1993 en la banda de 850 MHz, en un inicio se denominaban servicios de “Telefonía Móvil Celular” y posteriormente se denominaron “Servicio Móvil Avanzado”, (bandas 850 MHz, 1900 MHz, 700 MHz, AWS (1700/2100 MHz) y 2,5 GHz), que incluye no solo la prestación de telefonía móvil celular, sino servicios como transmisión de datos e internet móvil.

El Servicio Móvil Avanzado es el servicio de telecomunicaciones que mayor expansión ha experimentado en el Ecuador. Desde el año 2000 hasta el año 2011, el servicio de telefonía móvil celular, que luego se transformó en servicio móvil

avanzado, experimentó un crecimiento del 3805%. Entre 2011 y 2014 el crecimiento fue tal que existen más cantidad de líneas activas que habitantes en el territorio ecuatoriano.

La Superintendencia de Telecomunicaciones reporta en su página web, con periodicidad mensual, la cantidad existente de abonados/clientes-usuarios (valor determinado a partir de las Líneas Activas), donde se evidencia un constante crecimiento en la penetración del servicio, en corto y mediano plazo, no se visualiza una disminución de la tendencia.

La tecnología CDMA, con sus versiones CDMA 2000 de segunda generación y EVDO de tercera generación, que son utilizadas por dos de las tres operadoras existentes en el país, son cada vez menos usadas por los usuarios y se espera que en los próximos años desaparezca; en contraposición, la tecnología GSM, con toda su cadena de evolución GSM/GPRS/EDGE, dominante en el país, es la que disponen las tres operadoras del Servicio Móvil Avanzado y sigue en fase de crecimiento, mientras que la tecnología UMTS se encuentra en una fase de estabilidad de crecimiento en su red, desde diciembre del 2008. Mientras que, desde febrero del 2014, la tecnología LTE hizo su ingreso en el Ecuador.

El Servicio Móvil Avanzado (telefonía móvil) es el principal servicio de telecomunicaciones que utilizan los ecuatorianos, con las tecnologías GSM, UMTS y LTE de tal forma que es imprescindible intensificar el control para que el estado garantice la prestación del servicio, tal como lo establece el marco legal vigente.

4.2 Análisis de factibilidad técnica

En el Ecuador existe 3'359.400[27] abonados a los servicios de energía eléctrica. Cada abonado cuenta con un medidor de electricidad, teniendo en cuenta que las redes eléctricas inteligentes necesitan medición inteligente el cambio de los medidores actuales a medidores inteligentes resulta en un costo muy alto ya que los medidores inteligentes oscilan entre USD\$200 y USD\$500. Al utilizar hardware y software libre los costos por medidor se reducen a USD\$57.50 que son los costos del módulo Arduino Mega 2560 con un valor desde USD\$17.50 más el shield GSM 900 con un valor desde USD\$30 y componentes electrónicos con un

valor aproximado de USD\$10. Al utilizar software y hardware no propietarios se reduce costos de licenciamiento y permite agregar, quitar y modificar las funciones en base de las necesidades de usuarios, empresas de comercialización y distribución.

Con respecto al tráfico de datos que se atribuye a la medición inteligente para determinar la factibilidad de implementación con redes celulares se ha tomado como referencia una simulación del comportamiento de la red celular, ya que resulta difícil determinar el impacto real, es por esta razón que se cita a una investigación que estudia el tráfico realizado para 400 medidores con transmisión desde el medidor hacia el software de monitoreo y control. Como resultado la intensidad de tráfico máxima es de 1,111 Erlangs[28], la media de intensidad de tráfico es de 0,667 Erlangs y el mínimo es de 0,222 Erlangs con intervalos de datos de 15 minutos entre las mediciones.

4.3 Análisis económico

Los parámetros considerados para realizar el análisis económico es en base a costos referenciales de tres empresas eléctricas, la Empresa Eléctrica Ambato, Regional Centro Norte S.A y de la empresa eléctrica Azogues C.A[28]. Los beneficios de medición inteligente se traducen en reducción de costos de lecturas de medidores, ya que no es necesario personal que colecte la información de cada medidor a nivel nacional. Cortes y reconexiones, ya que se las realiza de forma automática al tener un software de gestión. Costos por pérdidas comerciales en la cual la energía es suministrada pero no es pagada por el consumidor.

Cálculo del costo anual por lecturas de medidores a nivel nacional

El gasto estimado por lecturas anuales es de USD\$1,7469[28] que la empresa eléctrica destina para el personal que toma lecturas de consumo de cada medidor. Para calcular el costo anual por lecturas de consumo de energía a nivel nacional multiplicamos el número de medidores a nivel nacional que es de 3'359.400 por el costo de lectura anual.

$$\text{Costo anual por lecturas} = \text{Número de medidores} * \text{Costo por lectura}$$

$$\text{Costo anual por lecturas} = 3'359.400 * 1,7469$$

$$\text{Costo anual por lecturas} = \text{USD\$}5'868.535,86$$

Cálculo del costo anual por cortes y reconexiones de medidores eléctricos a nivel nacional

El gasto mensual estimado por cortes y reconexiones que destinan las empresas encargadas de la comercialización es de USD\$7,69[28]. La media de morosidad es de 16%[28], datos estimados por la empresa eléctrica de Ambato y la Empresa Eléctrica de Azogues C.A[28]. Para calcular el costo anual por cortes y reconexiones del suministro eléctrico a nivel nacional multiplicamos el número de medidores a nivel nacional que es de 3'359.400 por el costo anual por cortes y reconexiones y por el porcentaje de morosidad.

*Costo anual por C/R = # medidores * Costo por C/R mensual * año * % morosidad*

$$\text{Costo anual por lecturas} = 3'359.400 * 7,69 * 12 * 16\%$$

$$\text{Costo anual por lecturas} = \text{USD\$49'600.869,86}$$

Cálculo del costo anual por pérdidas comerciales

El costo estimado que asumen las empresas eléctricas por pérdidas comerciales tomando datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Azogues es del 8,79% [28]de los medidores instalados ya que los medidores son manipulados y la pérdida mensual aproximada es de 150 kWh[28]. La tarifa eléctrica nacional por kWh es de USD\$0,09. Para calcular el costo anual por pérdidas comerciales a nivel nacional multiplicamos el número de medidores a nivel nacional que es de 3'359.400 por costo anual por cortes y reconexiones y por el porcentaje de morosidad.

*Costo anual por pérdidas comerciales = Número de medidores * % medidores manipulados * pérdida en kWh por medidor manipulado * año* tarifa eléctrica*

$$\text{Costo anual por pérdidas comerciales} = 3'359.400 * 8,79\% * 150 * 12 * 0,09$$

$$\text{Costo anual por pérdidas comerciales} = \text{USD\$47'837.184,12}$$

Cálculo de inversión del proyecto

Para el cálculo de inversión del proyecto se analiza los costos en infraestructura y servicios de telecomunicaciones para la red NAN. La cantidad de información que en promedio enviaría un medidor inteligente anual es de 13'321.728 bits. Al utilizar mensajes de texto debemos descontar los bits de relleno que son caracteres adicionales a la información útil en un total de 11'063.808 bits. El total de

información útil necesaria para medición eléctrica inteligente es de 2'257.920 bits. Tomando en cuenta que cada mensaje puede transmitir un total de 1120 bits es necesario 2016 mensajes de texto anuales por cada medidor. A continuación se presenta los paquetes de mensajes de texto de las tres operadoras de telefonía celular. La operadora Claro ofrece servicio de mensajes cortos de texto con el paquete de 240 SMS por USD\$5,60 incluido impuestos. La operadora Movistar ofrece servicio de mensajes cortos de texto con el paquete de 400 SMS por USD\$8,61 incluido impuestos. La operadora CNT ofrece servicio de mensajes cortos de texto con el paquete de 450 SMS por USD\$5,32 incluido impuestos.

OPERADORA	COSTO ANUAL SMS
Claro	47,1
Movistar	43,4
CNT	23,8

Tabla IV.1 Costo anual por SMS para medición inteligente

Al utilizar mensajes de texto para medición inteligente, utilizando como proveedor de servicios a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT y multiplicando por total de abonados del suministro eléctrico el costo anual asciende a USD\$80'066.596.

$$\text{Costo anual telecomunicaciones} = \# \text{ medidores} * \text{Costo anual SMS}$$

$$\text{Costo anual telecomunicaciones} = 3'359.400 * \text{USD}\$23,8$$

$$\text{Costo anual telecomunicaciones} = \text{USD}\$80'066.596$$

El total de inversión necesaria para acondicionar a los medidores actuales y convertirlos a medidores eléctricos inteligentes es de USD\$193'165.500. El costo total de inversión si se cambian todos los medidores de los abonados a medidores eléctricos inteligentes tomando como promedio un valor de USD\$350 el total de la inversión asciende a USD\$1.175'790.000.

Se considera para la evaluación financiera 20 periodos que equivalen a 20 años en los cuales se calculan los ingresos y egresos anuales, los mismos que permitirán evaluar los indicadores financieros de un proyecto de inversión que son VAN, TIR, beneficio-costos y el payback que es el plazo en el que se cubrirá la inversión inicial.

La tabla IV.2 detalla los costos por lecturas, cortes-reconexión y fraude que se ahorran las empresas de distribución de energía eléctrica al utilizar medición inteligente, por lo tanto los costos son transformados a ingresos anuales durante los veinte periodos del análisis.

Año	Periodo	Lecturas	Corte reconexión	Fraude	Total ingresos
2015	0				
2016	1	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2017	2	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2018	3	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2019	4	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2020	5	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2021	6	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2022	7	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2023	8	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2024	9	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2025	10	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2026	11	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2027	12	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2028	13	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2029	14	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2030	15	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2031	16	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2032	17	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2033	18	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2034	19	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590
2035	20	\$ 5.868.536	\$ 49.600.870	\$ 47.837.184	\$ 103.306.590

Tabla IV.2 Ingresos por medición inteligente

La tabla IV.3 presenta los costos resultado de adicionar la circuitería de telecomunicaciones y los valores de los servicios de mensajes cortos de texto, por lo tanto los costos son transformados a egresos anuales durante los veinte periodos del análisis.

Medidores	Telecomunicaciones	Total egresos
\$ 193.165.500		\$ 193.165.500
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596
	\$ 80.066.596	\$ 80.066.596

19	\$ 103.306.590	\$ 80.066.596	\$ 23.239.994
20	\$ 103.306.590	\$ 80.066.596	\$ 23.239.994

Tabla IV.4 Flujo efectivo producto de la medición inteligente

Al ser un proyecto de inversión los ingresos anuales futuros deben ser penalizados con un 6% que representa el interés que un banco puede pagar por la inversión del dinero y un 4% por la depreciación del dinero, las tasas de depreciación son determinadas por el Banco Central del Ecuador. Si sumamos las penalidades la tasa de actualización debe ser del 10%. La fórmula utilizada para actualizar los valores futuros a presentes se presenta en la tabla IV.5

$$(1+t)^{-n} \quad (IV.1)$$

Donde,

t corresponde al porcentaje de penalización anual.

n corresponde al periodo.

La tabla IV.5 presenta los ingresos y egresos anuales futuros traídos al presente.

Ingresos Actualizados	Egresos Actualizados
0	\$ 193.165.500
\$ 93.915.082	\$ 72.787.815
\$ 85.377.347	\$ 66.170.740
\$ 77.615.770	\$ 60.155.219
\$ 70.559.791	\$ 54.686.562
\$ 64.145.265	\$ 49.715.057
\$ 58.313.877	\$ 45.195.506
\$ 53.012.615	\$ 41.086.824
\$ 48.193.287	\$ 37.351.658
\$ 43.812.079	\$ 33.956.053
\$ 39.829.163	\$ 30.869.139
\$ 36.208.330	\$ 28.062.853
\$ 32.916.663	\$ 25.511.685
\$ 29.924.239	\$ 23.192.441
\$ 27.203.854	\$ 21.084.037
\$ 24.730.776	\$ 19.167.307
\$ 22.482.524	\$ 17.424.824
\$ 20.438.658	\$ 15.840.749
\$ 18.580.598	\$ 14.400.681
\$ 16.891.453	\$ 13.091.528
\$ 15.355.866	\$ 11.901.389

Tabla IV.5 Ingresos y egresos actualizados al presente

Para tomar una decisión respecto a la factibilidad del proyecto se debe verificar los resultados de los indicadores financieros, para lo cual el VAN debe ser mayor que cero, TIR mayor o igual que la tasa de interés y la relación beneficio-costos mayor o igual a cero.

Indicador	Valor	Decisión
VAN	\$ 4.689.670	Aceptable
TIR	10%	Aceptable
B/C	1,29	Aceptable
Payback [años]	8,33	Aceptable

Tabla IV.6 *Indicadores de factibilidad financiera*

4.4 Análisis legal

Consideraciones de privacidad y seguridad

Los datos de los medidores eléctricos inteligentes presentan temas relacionados con la seguridad y privacidad. En el año 2010, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) publicó un informe que identifica dos categorías principales. La primera categoría relaciona los problemas de privacidad ya que los contadores inteligentes revelarán las actividades de las personas en el interior de su hogar mediante la medición de consumo de electricidad. La segunda categoría son los temores de las medidas de seguridad cibernética en torno a la transmisión digital de datos de los contadores inteligentes, ya que pueden ser expuestas a un mal uso por los usuarios autorizados y no autorizados de los datos.[29]

Mayor potencial de robo o violación de datos

Diferentes tecnologías son usadas para la transmisión de datos a la red, incluyendo el par trenzado telefónico, líneas de cobre, cable de fibra óptica, celular, satélite, microondas, WiMax y banda ancha sobre línea eléctrica. De estas plataformas de comunicación, las tecnologías inalámbricas tienden a desempeñar un papel destacado ya que su implementación es menos costosa pero presentan más problemas de seguridad que las comunicaciones cableadas. De acuerdo con el departamento de energía, una red de servicios públicos tiene cuatro niveles entre la lectura y transmiten datos de los consumidores. El primer nivel núcleo backbone, ya que es la ruta primaria hacia el centro de datos de los servicios públicos. El segundo nivel es el backhaul de distribución, es el punto de

agregación de datos del vecindario. El tercer nivel es el punto de acceso, típicamente es el medidor inteligente. El cuarto nivel es la HAN o red doméstica. El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) explica, sobre los datos de consumo que se envían través de una red inteligente y al estar almacenados en muchos se vuelven más vulnerables a la interceptación sin autorización. El movimiento de datos también aumenta la posibilidad de que sea robada por terceros no autorizados mientras que está en tránsito, sobre todo cuando se viaja a través de una red inalámbrica o a través de componentes de comunicaciones que pueden ser incompatibles con uno con el otro o poseer protecciones de seguridad obsoletas.[30]

Constitución 2008

A continuación se analizan los artículos vigentes en la Constitución de la república del Ecuador que inciden en el sector de las telecomunicaciones y las Tics.[31]

Capítulo segundo

Derechos del buen vivir

Sección tercera

Comunicación e Información

Art. 16.- Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:

...

2. El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.
3. La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.

Capítulo tercero

Derechos de las personas y grupos de atención prioritaria

Sección novena

Personas usuarias y consumidoras

Art. 52.- Las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características.

Art. 54.- Las personas o entidades que presten servicios públicos o que produzcan o comercialicen bienes de consumo, serán responsables civil y penalmente por la deficiente prestación del servicio, por la calidad defectuosa del producto, o cuando sus condiciones no estén de acuerdo con la publicidad efectuada o con la descripción que incorpore...

Capítulo sexto

Derechos de libertad

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas:

...

19. El derecho a la protección de datos de carácter personal, que incluye el acceso y la decisión sobre información y datos de este carácter, así como su correspondiente protección. La recolección, archivo, procesamiento, distribución o difusión de estos datos o información requerirán la autorización del titular o el mandato de la ley...

21. El derecho a la inviolabilidad y al secreto de la correspondencia física y virtual; ésta no podrá ser retenida, abierta ni examinada, excepto en los casos previstos en la ley, previa intervención judicial y con la obligación de guardar el secreto de los asuntos ajenos al hecho que motive su examen. Este derecho protege cualquier otro tipo o forma de comunicación...

25. El derecho a acceder a bienes y servicios públicos y privados de calidad, con eficiencia, eficacia y buen trato, así como a recibir información adecuada y veraz sobre su contenido y características...

Garantías Constitucionales

REGISTRO OFICIAL

Año II – Quito, Lunes 20 de Octubre del 2008 – No 449

Capítulo segundo Políticas públicas

Servicios públicos y participación ciudadana

Art. 85.- La formulación, ejecución, evaluación y control de las políticas públicas y servicios públicos que garanticen los derechos reconocidos por la Constitución, se regularán de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Las políticas públicas y la prestación de bienes y servicios públicos se orientarán a hacer efectivos el buen vivir y todos los derechos, y se formularán a partir del principio de solidaridad...

Art. 92.- Toda persona, por sus propios derechos o como representante legitimado para el efecto, tendrá derecho a conocer de la existencia y a acceder a los documentos, datos genéticos, bancos o archivos de datos personales e informes que sobre sí misma, o sobre sus bienes, consten en entidades públicas o privadas, en soporte material o electrónico. Asimismo tendrá derecho a conocer el uso que se haga de ellos, su finalidad, el origen y destino de información personal y el tiempo de vigencia del archivo o banco de datos.

Las personas responsables de los bancos o archivos de datos personales podrán difundir la información archivada con autorización de su titular o de la ley.

La persona titular de los datos podrá solicitar al responsable el acceso sin costo al archivo, así como la actualización de los datos, su rectificación, eliminación o anulación. En el caso de datos sensibles, cuyo archivo deberá estar autorizado por la ley o por la persona titular, se exigirá la adopción de las medidas de seguridad necesarias. Si no se atendiera su solicitud, ésta podrá acudir a la jueza o juez. La persona afectada podrá demandar por los perjuicios ocasionados.

CONCLUSIONES

Los medidores eléctricos inteligentes que dispone la Universidad Politécnica Salesiana, al ser una donación de la empresa eléctrica Guayaquil, posee en su hardware tecnología de comunicaciones inalámbricas vía radio. El principal inconveniente de adquirir la información de los medidores de la UPSQ fue determinar el canal de radio frecuencia en el cual se envían los datos y el identificador de radio frecuencia que es la codificación que cada fabricante coloca en su protocolo de comunicaciones. Por esta razón fue necesario abrir los medidores, analizar el hardware para identificar los transformadores de corriente y adquirir las señales eléctricas que son procesadas y enviadas al concentrador.

La diferencia en la medición de potencia entre el módulo diseñado en el presente proyecto y el analizador de energía Fluke 43B se da por la exactitud y linealidad de los transformadores de corriente, esto se evidencia en los resultados obtenidos utilizando la misma programación para los módulos pero con diferentes transformadores de corriente de los diferentes medidores.

La información de las lecturas de los medidores eléctricos que es despachada al concentrador utilizando mensajes cortos de textos conocidos como SMS da como resultado una baja eficiencia en el uso del espectro ya que la mayor cantidad de caracteres que se envían son destinados para procesos que describen los dispositivos, así como la hora de envío y otra información necesaria para el intercambio de información entre el transmisor y el receptor.

La elección de la red para medición inteligente se basa en el análisis de infraestructura necesaria para comunicar los medidores al concentrador y depende únicamente de la tecnología de comunicaciones que se implementa. Por esta razón se concluye que la menor inversión en infraestructura se realiza al utilizar la red celular ya que brinda gran capacidad de cobertura y permite escalabilidad para nuevos dispositivos evitando gastos en la implementación de torres de comunicaciones, concentradores, repetidores de las señales enviadas por los medidores inteligentes.

Ecuador al ser un país en vías de desarrollo presenta la obligación de optimizar los métodos que actualmente son usados para la medición de energía eléctrica

con la finalidad de mejorar la calidad de vida disminuyendo el impacto ambiental que implica el uso de la energía eléctrica. El análisis económico demuestra que es más factible invertir en módulos de telecomunicaciones para el intercambio de información que el reemplazo a nivel nacional de los medidores actuales por medidores eléctricos inteligentes ya que es necesario una gran cantidad recursos económicos por lo que la integración de un módulo adicional a los medidores ya instalados vislumbra un exitoso panorama.

Con el desarrollo del presente proyecto se crea una vía abierta para la producción nacional de medidores inteligentes ya que el resultado de la investigación es la creación de un medidor eléctrico que toma las señales de los TCs de cada medidor, las procesa, digitaliza, almacena y envía al concentrador. Es necesario para crear medidores a escala nacional crear seguridades en cada segmento de la red sea interna entre los entre los dispositivos del hogar que es la red HAN, seguridades a nivel de la red de vecindad que es la red NAN y finalmente seguridades en los servidores.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el análisis de costos que implicaría cambiar de mensajes cortos de texto o SMS a planes de datos o llamadas desde el concentrador hacia los medidores eléctricos inteligentes instalados en los abonados, ya que la información útil de cada medidor tiene un volumen pequeño de datos, por ejemplo si se envía un texto con la información el tamaño aproximado del archivo por lectura es de 17 bytes lo que equivale a 595.680 bytes anuales.

Es necesario realizar un análisis de las zonas con cobertura celulares a nivel nacional permitiendo evidenciar los alcances y zonas geográficas en las que es posible utilizar la tecnología celular para medición inteligente. Con los datos obtenidos se pueden crear y plantear planes de contratos con las operadoras telefónicas del país.

Se recomienda la creación de seguridades para mantener la confidencialidad de la información de cada usuario, las seguridades deben ser integradas a los medidores dando un paso definitivo en la creación de dispositivos inteligentes de medición de energía eléctrica.

Al ser un proyecto de gran envergadura es necesario contar con planes de implementación o reemplazo en el caso de ser necesario, permitiendo la ejecución ordenada de AMI a nivel nacional tomando en cuenta las zonas residenciales, industriales y comerciales permitiendo evaluar los tiempos que se dejaría sin servicio identificando el impacto económico que conlleva el cambio de tecnología.

Se recomienda realizar un análisis de las ventajas y desventajas de contar con redes inteligentes de energía eléctrica no solo en la medición sino también en la generación, transmisión, distribución y comercialización del suministro eléctrico con la finalidad de evidenciar los resultados que se pueden obtener tanto para los usuarios como para las empresas eléctricas.

Se recomienda encontrar otra alternativa para tomar los datos de los medidores ya que al tomar las señales de los TCs, la potencia que necesita el medidor para realizar los cálculos es muy baja por lo tanto no es posible pinchar al medidor para obtener información y al mismo tiempo utilizar el módulo de telecomunicaciones creado en el presente proyecto.

Es necesario la creación de un marco regulatorio para la medición inteligente de energía eléctrica en el Ecuador, ya que la Constitución del 2008 y sus enmiendas regulan a los actores públicos y privados que manejan la información personal de sus suscriptores, pero no existen leyes para que regulen la implementación, transporte, trato de los datos, accesos a información y seguridades necesarias para precautelar la información obtenida de la medición.

REFERENCIAS

- [1] SENPLADES, “Cambio de la matriz energética.” [Online]. Available: <http://plan.senplades.gob.ec/estrategia7>. [Accessed: 25-Feb-2015].
- [2] AGN, “En 2016 operarán 8 nuevos proyectos hidroeléctricos,” *EL Mercur.*, 2014.
- [3] J. Ekanayake and K. Liyanage, *SMART GRID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS*, First edit. New Delhi, 2013.
- [4] D. Ce, D. E. L. Parlamento, and E. Y. Del, “L 140/16,” vol. 2008, no. 2, pp. 16–62, 2009.
- [5] “Electronic meter - Enel.com.” [Online]. Available: http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/smart_metering/.
- [6] “Situación actual del Smart Metering en España « enerzuul.” .
- [7] F. García, P. Garcés, and R. Atiaja, “Panorama General del Sector Eléctrico en América Latina y el Caribe,” *OLADE*, 2012.
- [8] J. Meadows, “Smart from the start,” 2010.
- [9] S. Marcacci, “North American market breakdown,” 2012. [Online]. Available: <http://www.marcaccicomms.com/wp-content/uploads/2012/07/Screen-shot-2012-07-03-at-7.43.44-PM.png>. [Accessed: 09-Feb-2015].
- [10] R. Yu, X. Zhang, and V. Leung, *Green Communications and Networking*, First edit. New Delhi, 2013, pp. 271–301.
- [11] Landis+Gyr, “Contadores de electricidad,” 2015. [Online]. Available: <http://www.landisgyr.es/products/electric-meters/>. [Accessed: 09-Feb-2015].
- [12] Itron, “Itron,” *Electricidad*, 2015. [Online]. Available: <https://www.itron.com/mxca/es/productsAndServices/electricity/Pages/default.aspx>. [Accessed: 13-Feb-2015].
- [13] Elster, “Elster,” 2015. [Online]. Available: <http://www.elster.com/en/electricity>. [Accessed: 13-Feb-2015].
- [14] Echelon, “Echelon,” 2015. [Online]. Available: <http://www.echelon.com/>. [Accessed: 13-Feb-2015].
- [15] J. Zheng, D. W. Gao, and L. Lin, “Smart meters in smart grid: An overview,” *IEEE Green Technol. Conf.*, pp. 57–64, 2013.

- [16] S. Bera and S. Misra, "Energy-Efficient Smart Metering for Green Smart Grid Communication," pp. 2466–2471, 2014.
- [17] M. Alvarado, "Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana," Universidad de Cuenca, 2011.
- [18] E. Hossain, Z. Han, and V. Poor, *Smart Grid Communications and Networking*. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2012.
- [19] L. T. Berger and K. Iniewski, "Smart Grid Applications, Communications, and Security." New Jersey: John Wiley, 2012, p. 488.
- [20] M. Ruiz, "Estudio de la red de video vigilancia de la UPS-Campus Girón y diseño de una propuesta de correctivos y mejoramiento de la red," Politécnica Salesiana, 2012.
- [21] L. J. Khan Shafiullah, *Green Networking and Communications*. Boca Raton: CRC Press, 2014, pp. 335–352.
- [22] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, "Smart grid technologies: Communication technologies and standards," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [23] W. Stallings, *Wireless Communications and Networks*, Second Edi. Pearson, 2002.
- [24] M. Sauter, *FROM GSM TO LTE*, First edit. Chennai, India: WILEY, 2011, pp. 1–60.
- [25] IFIXIT, "Elster REX2 Smart Meter Teardown," 2015. [Online]. Available: <https://d3nevfk7ii3be.cloudfront.net/igi/Z5iQShUkM6tyQatE>. [Accessed: 25-Feb-2015].
- [26] E. M. G. Torres, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Edwin Marcelo García Torres," pp. 170–172.
- [27] CONELEC, "LAS REGULACIONES COMO HERRAMIENTAS PARA MASIFICAR EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR." [Online]. Available: http://www.ariae.org/download/cursos/xcursoariae2012/ponencias/F. & I. CALERO_Presentación Eficiencia Energética CONELEC.pdf. [Accessed: 24-Feb-2015].
- [28] C. Suarez and E. Inga, "MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES PARA MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA

ELÉCTRICA RESIDENCIAL EN ZONAS URBANAS,” Politécnica Salesiana, 2015.

- [29] V. Kumar and M. Hussain, “Secure communication for advance metering infrastructure in smart grid,” 2014.
- [30] I. Reid and H. Stevens, Eds., *SMART METERS AND THE SMART GRID*. New York: NOVA, 2012, pp. 1–6.
- [31] Constitución de la Republica del Ecuador, “Constitución de la Republica del Ecuador,” p. 121, 2008.