



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE NODOS INTEGRABLES A UNA
RED DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS
PARA EL SECTOR INDUSTRIAL”

Trabajo de Titulación:

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORES: LILIANA ISABEL ROQUE MAZA

EDGAR RAMIRO GRANDA REYES

DIRECTOR: Ing. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR

Riobamba-Ecuador

2019

©2019, Liliana Isabel Roque Maza, Edgar Ramiro Granda Reyes

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Liliana Isabel Roque Maza y Edgar Ramiro Granda Reyes, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 12 de diciembre del 2019

Liliana Isabel Roque Maza

092117631-9

Edgar Ramiro Granda Reyes

172496284-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE NODOS INTEGRABLES A UNA RED DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS PARA EL SECTOR INDUSTRIAL**”, realizado por la señorita **LILIANA ISABEL ROQUE MAZA** y el señor **EDGAR RAMIRO GRANDA REYES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA (2019-12-12) |
|---|--------------|-------------------------------------|
| Ing. Víctor Isaac Herrera Pérez, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |
| Ing. José Enrique Guerra Salazar, Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | _____ | _____ |
| Ing. Wilson Oswaldo Baldeón López, Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, en especial a mis padres María y Manuel por siempre creer en mí capacidad, su arduo trabajo, constante dedicación, amor ofreciéndome su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos en el transcurso de mi vida tanto personal como universitaria todo esto con el único propósito de verme convertida en una profesional.

A mis hermanos por brindarme su cariño y motivarme constantemente a conseguir mi objetivo, puesto que soy su ejemplo a seguir.

A mi pequeño hijo Christopher por ser mi luz, fortaleza e inspiración para superarme cada día y poder ofrecerle así una mejor calidad de vida.

A Edgar mi esposo y compañero de tesis por acompañarme, ayudarme e impulsarme en las situaciones más difíciles a lo largo de estos años de estudio.

Finalmente, a mis amigos y compañeros quienes compartieron sus conocimientos, vivencias, y palabras de aliento durante mi etapa estudiantil.

Liliana

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres Jaime y Germania por su apoyo incondicional en todo momento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mi principio, mi perseverancia, todo esto con mucho amor y sin pedir nada a cambio.

A mi esposa Liliana que siempre ha estado ahí en momentos difíciles y me ha apoyado incondicionalmente.

A mi hijo Christopher que es la razón de mi superación diaria.

A mis hermanos Luis Jaime y Greisa que han sido un ejemplo de superación y siempre han estado siempre dispuestos a brindarme todo su apoyo.

Edgar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por concederme salud, vida y mantener a mi padres y hermanos unidos en familia, además brindarme sabiduría y fortalecer para asumir y superar los obstáculos presentados durante mi carrera.

A mis padres por sus innumerables esfuerzos, brindarme su amor incondicional, consejos y valores.

A mis hermanos Sandra, Vilma, Lisseth y Alejandro por su apoyo y motivación constante.

A mi hijo Christopher por ser la razón de mi superación personal.

A los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo de estos años de estudio.

A mi esposo Edgar y su familia por su apoyo económico y moral.

Liliana

Agradezco a Dios por darme fuerza y voluntad para cumplir mis metas y superar los obstáculos presentados al largo de mi vida estudiantil.

A mis padres por sus consejos y apoyo incondicional.

A mis hermanos por siempre estar pendiente de mí y brindarme sus consejos y apoyo.

A mi hijo Christopher el cual me alienta cada día a ser mejor en lo que hago.

A mi esposa Liliana por su compañía y apoyo en los buenos y malos momentos.

A los docentes de la ESPOCH por nutrirme de conocimiento y experiencias.

Al personal Técnico del departamento de clientes especiales de CNEL Santo Domingo por la colaboración durante la investigación y desarrollo del presente trabajo de titulación.

Edgar

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-----------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS..... | xiv |
| RESUMEN..... | xv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|-----------|
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| 1.1. Clientes industriales..... | 7 |
| 1.2. Medidores de energía eléctrica..... | 7 |
| 1.2.1 Tipos de medidores de energía eléctrica. | 7 |
| 1.2.2 Medidores electrónicos inteligentes de energía eléctrica..... | 9 |
| 1.2.2.1 Componentes de los medidores inteligentes..... | 9 |
| 1.2.2.2 Parámetros eléctricos..... | 9 |
| 1.3. Normas ANSI para medidores inteligentes..... | 11 |
| 1.3.1 Estándar C12.19..... | 11 |
| 1.3.1.1 Estructura de tablas..... | 11 |
| 1.3.2 Estándar C12.18..... | 12 |
| 1.3.2.1 Estructura de paquetes. | 13 |
| 1.4. Tarjetas de desarrollo | 14 |
| 1.4.1 Arduino | 15 |
| 1.4.2 NodeMCU..... | 15 |
| 1.4.3 Raspberry Pi..... | 16 |
| 1.4.4 Comparación entre las tarjetas de desarrollo | 16 |
| 1.5. Tecnologías de acceso a internet. | 17 |

| | | |
|-------|--|----|
| 1.5.1 | <i>Banda ancha</i> | 17 |
| 1.5.2 | <i>Internet satelital</i> | 17 |
| 1.5.3 | <i>(GPRS) General Packet Radio Service</i> | 17 |
| 1.5.4 | <i>Selección de tecnología de acceso a internet</i> | 18 |
| 1.6. | Tecnologías inalámbricas | 18 |
| 1.6.1 | <i>Infrarrojo</i> | 18 |
| 1.6.2 | <i>Bluetooth</i> | 19 |
| 1.6.3 | <i>Wi-Fi (Wireless Fidelity)</i> | 19 |
| 1.6.4 | <i>Zigbee</i> | 19 |
| 1.6.5 | <i>Cuadro comparativo entre tecnologías Bluetooth, Wi-Fi y Zigbee</i> | 19 |
| 1.7. | Topologías de red | 20 |
| 1.7.1 | <i>Cuadro comparativo de topologías de red</i> | 22 |
| 1.8. | Plataformas IoT | 22 |
| 1.8.1 | <i>ThingSpeak</i> | 22 |
| 1.8.2 | <i>Ubidots</i> | 23 |
| 1.8.3 | <i>Temboo</i> | 23 |
| 1.8.4 | <i>ThingsBoard</i> | 24 |
| 1.8.5 | <i>Cuadro comparativo de plataformas IoT</i> | 24 |
| 1.9. | Plataformas como servicio | 25 |
| 1.9.1 | <i>Microsoft azure</i> | 25 |
| 1.9.2 | <i>Amazon web services (AWS)</i> | 25 |
| 1.9.3 | <i>Cuadro comparativo de las plataformas de servicio en la nube</i> | 25 |

CAPITULO II

| | | |
|-------|--|----|
| 2 | MARCO METODOLÓGICO | 26 |
| 2.1. | Requerimientos de hardware y software del prototipo Telenergy ...26 | |
| 2.2. | Diseño del prototipo Telenergy | 27 |
| 2.2.1 | <i>Concepción de la arquitectura del prototipo</i> | 27 |
| 2.3. | Arquitectura del prototipo Telenergy | 27 |
| 2.3.1 | <i>Nodo de Adquisicion y Procesamiento de Datos</i> | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.2 | <i>Nodo de Almacenamiento y Visualizacion</i> | 29 |
| 2.4. | Estándares de comunicación | 29 |
| 2.4.1 | <i>Tablas utilizadas del estándar C12.19</i> | 29 |
| 2.4.2 | <i>Servicios utilizados del estándar C12.18</i> | 30 |
| 2.5. | Selección de <i>hardware</i> del sistema Telenergy. | 33 |
| 2.5.1 | <i>Medidor Elster Alpha A3</i> | 33 |
| 2.5.2 | <i>Sonda Óptica KMK 136</i> | 33 |
| 2.5.3 | <i>Raspberry Pi 3B</i> | 34 |
| 2.5.4 | <i>Modulo SIM 800L</i> | 35 |
| 2.6. | Esquemas de conexiones del prototipo Telenergy | 36 |
| 2.7. | Selección del <i>software</i> para el prototipo Telenergy | 37 |
| 2.7.1 | <i>Python</i> | 37 |
| 2.7.2 | <i>ThingsBoard.</i> | 37 |
| 2.7.3 | <i>Servidor de Microsoft Azure</i> | 38 |
| 2.8. | Diagramas de flujo del prototipo Telenergy | 38 |
| 2.9. | Plataforma de monitoreo ThingsBoard. | 41 |
| 2.9.1 | <i>Alarmas</i> | 41 |
| 2.9.2 | <i>Paneles</i> | 42 |
| 2.9.3 | <i>Usuarios</i> | 44 |

CAPITULO III

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | ANÁLISIS Y RESULTADOS | 45 |
| 3.1. | Comunicación entre bloque de lectura y de extraccion | 46 |
| 3.2. | Instalación y caracterización del prototipo | 46 |
| 3.2.1 | <i>Funcionamiento del prototipo.</i> | 46 |
| 3.2.2 | <i>Tiempo de retardo para la visualización de información</i> | 47 |
| 3.2.3 | <i>Disponibilidad de datos</i> | 49 |
| 3.2.4 | <i>Comparación de resultados</i> | 49 |
| 3.3. | Pruebas de escalabilidad | 57 |
| 3.3.1 | <i>Usuarios máximos</i> | 57 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.3.2 | <i>Nodos</i> | 60 |
| 3.4. | Análisis de costo beneficio del prototipo Telenergy | 62 |
| 3.5 | Alcance de la arquitectura base del prototipo | 63 |
| | CONCLUSIONES | 64 |
| | RECOMENDACIONES | 65 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 1-1: | Parámetros eléctricos para análisis de calidad de energía..... | 10 |
| Tabla 2-1: | Parámetros eléctricos para facturación..... | 10 |
| Tabla 3-1: | Servicios del Estándar C12.18 | 13 |
| Tabla 4-1: | Elementos que conforman un paquete..... | 14 |
| Tabla 5-1: | Cuadro comparativo de las tarjetas de desarrollo..... | 17 |
| Tabla 6-1: | Diferencias entre las tecnologías Bluetooth Wifi y ZigBee..... | 19 |
| Tabla 7-1: | Comparación entre las diferentes topologías de red..... | 22 |
| Tabla 8-1: | Diferencias entre plataformas IoT..... | 24 |
| Tabla 9-1: | Comparación entre plataformas de servicio en la nube | 25 |
| Tabla 1-2: | Tabla de datos solicitados | 30 |
| Tabla 2-2: | Paquetes enviados y recibidos..... | 32 |
| Tabla 3-2: | Especificaciones técnicas sonda Óptica KMK | 34 |
| Tabla 4-2: | Especificaciones técnicas de Raspberry Pi 3B | 35 |
| Tabla 5-2: | Especificaciones técnicas de SIM800L | 36 |
| Tabla 6-2: | Recursos alquilados a Microsoft Azure..... | 38 |
| Tabla 1-3: | Tiempos de llegada de información de cada nodo..... | 48 |
| Tabla 2-3: | Resumen de datos obtenidos | 49 |
| Tabla 3-3: | Variables de facturación nodo GPRS | 50 |
| Tabla 4-3: | Variables de facturación nodo Wi-Fi | 50 |
| Tabla 5-3: | Variables de instrumentación nodo GPRS | 51 |
| Tabla 6-3: | Variables de instrumentación nodo Wi-Fi..... | 51 |
| Tabla 7-3: | Variables de perfil de carga nodo GPRS | 52 |
| Tabla 8-3: | Variables de perfil de carga nodo Wi-Fi | 53 |
| Tabla 9-3: | Eventos e información básica nodo GPRS | 54 |
| Tabla 10-3: | Eventos e información básica nodo Wi-Fi | 54 |
| Tabla 11-3: | Resultados totales de JMeter para 10 usuarios..... | 58 |
| Tabla 12-3: | Resultados totales de JMeter para 30 usuarios..... | 59 |
| Tabla 13-3: | Resultados totales de JMeter para 50 usuarios..... | 59 |
| Tabla 14-3: | Presupuesto del prototipo Telenergy..... | 62 |
| Tabla 15-3: | Comparativa entre el software Metercat y Telenergy..... | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1-1: | Tipos de medidores | 8 |
| Figura 2-1: | Estructura de tablas del estándar ANSI C12.19..... | 11 |
| Figura 3-1: | Ejemplo de estructura de tablas | 12 |
| Figura 4-1: | Modelos comunes de Arduino. | 15 |
| Figura 5-1: | NodeMCU..... | 16 |
| Figura 6-1: | Raspberry Pi 3B | 16 |
| Figura 7-1: | Porcentaje de radio bases instaladas por prestador y tecnología. | 18 |
| Figura 8-1: | Topología estrella..... | 20 |
| Figura 9-1: | Topología malla | 20 |
| Figura 10-1: | Topología bus..... | 21 |
| Figura 11-1: | Topología Árbol | 21 |
| Figura 12-1: | Topología Anillo | 21 |
| Figura 13-1: | Plataforma ThingSpeak | 22 |
| Figura 14-1: | Plataforma Ubidots..... | 23 |
| Figura 15-1: | Estructura de Temboo | 23 |
| Figura 16-1: | Arquitectura de ThingsBoard | 24 |
| Figura 1-2: | Concepción del prototipo | 27 |
| Figura 2-2: | Diagrama de bloques del NAP | 28 |
| Figura 3-2: | Diagrama de bloques del NAV..... | 29 |
| Figura 4-2: | Proceso de comunicación ANSI C12.18..... | 31 |
| Figura 5-2: | Estructura de paquetes ANSI C12.18 | 32 |
| Figura 6-2: | Medidor Eléctrico Inteligente Elster Alpha A3 | 33 |
| Figura 7-2: | Sonda Óptica USB | 34 |
| Figura 8-2: | Raspberry Pi 3..... | 34 |
| Figura 9-2: | Modulo GPRS SIM 800L..... | 35 |
| Figura 10-2: | Esquema de conexiones del prototipo Telenergy (a) Wi-Fi (b) GPRS | 37 |
| Figura 11-2: | Diagrama de flujo para el funcionamiento del prototipo Telenergy | 40 |
| Figura 12-2: | Cadena de reglas de alarmas..... | 41 |
| Figura 13-2: | Panel Principal de Monitoreo | 42 |
| Figura 14-2: | Panel de información técnica-comercial..... | 43 |
| Figura 15-2: | Sub-panel de instrumentación | 43 |
| Figura 16-2: | Sub-panel de perfil de carga, demanda y consumo..... | 44 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 1-3: | Compilación del código de comunicación | 45 |
| Figura 2-3: | Prototipo Telenergy funcionando con nodo Wi-Fi | 46 |
| Figura 3-3: | Instalación del nodo GPRS..... | 47 |
| Figura 4-3: | Comparación de tabla de facturación nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b) .. | 55 |
| Figura 5-3: | Comparación tabla de instrumentación nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b) | 55 |
| Figura 6-3: | Comparación tabla de perfil de carga nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b) .. | 55 |
| Figura 7-3: | Comparación tabla de facturación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy (b) | 56 |
| Figura 8-3: | Comparación tabla de instrumentación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy(b) | 56 |
| Figura 9-3: | Comparación tabla de instrumentación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy(b) | 56 |
| Figura 10-3: | Comportamiento de variables para 10 usuarios. | 58 |
| Figura 11-3: | Comportamiento de variables para 30 usuarios. | 59 |
| Figura 12-3: | Comportamiento de variables para 50 usuarios. | 60 |
| Figura 13-3: | Tiempo de espera promedio y rendimiento para 10 nodos..... | 61 |
| Figura 14-3: | Tiempo de espera promedio y rendimiento para 50 nodos..... | 61 |
| Figura 15-3: | Tiempo de espera promedio y rendimiento para 100 nodos..... | 62 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones técnicas del Medidor Alpha A3.

ANEXO B: Especificaciones técnicas de la Sonda Óptica KMK.

ANEXO C: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 Modelo B

ANEXO D: Especificaciones técnicas SIM 800L

ANEXO E: Código NAP

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|----------------|--|
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. |
| GPRS | General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes vía Radio). |
| CENACE | Centro Nacional de Control de Energía. |
| EEQ | Empresa Eléctrica Quito. |
| CNEL | Corporación Nacional de Electricidad. |
| IoT | Internet of Things (Internet de las cosas). |
| ARCONEL | Agencia de Regulación y Control de Electricidad. |
| IP | Internet Protocol (Protocolo de internet). |
| LCD | Liquid Cristal Display (Pantalla de cristal líquido). |
| ANSI | American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares). |
| NEMA | National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos). |
| OSI | Open System Interconnection Interconexión de Sistemas Abiertos). |
| CRC | Cyclic Redundancy Check (Comprobación de Redundancia Cíclica). |
| USB | Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie). |
| SMA | Servicio Móvil Avanzado. |
| MINTEL | Ministerio de Telecomunicaciones. |
| IMS | Industrial, Scientific and Medical (Industrial, Científica y Médica). |
| SIM | Subscriber Identity Module (Módulo de Identificación de Abonado). |
| CSV | Comma Separated Values (Valores Separado por Coma). |
| IDE | Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado). |
| HTTP | Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de Hipertexto). |

RESUMEN

Se diseñó y construyó nodos integrables a una red de telemedición de parámetros eléctricos para el sector industrial denominado Telenergy. El prototipo consta de dos nodos básicos que trabajan bajo topología estrella, el de Adquisición y Procesamiento de Datos (NAP), que extrae información para procesarla y transmitirla hacia un servidor en la nube, empleando tecnologías de comunicación Wifi o Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS) dependiendo de la disponibilidad y ubicación geográfica del medidor instalado en la fábrica. El Nodo de Almacenamiento y Visualización (NAV), almacena y muestra información instantánea e histórica en una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) ThingsBoard en un entorno gráfico e interactivo ideal para procesos de análisis posterior. La plataforma permite usuarios con diferentes niveles de acceso y clave como administradores de la empresa distribuidora y de clientes finales. En base a análisis de la información en hexadecimal suministrada por el medidor trifásico ELSTER ALPHA A3 se desarrolló un software de decodificación que trabaja bajo el estándar C12.18 y que permite al prototipo mostrar información referente a facturación y análisis de calidad de energía, similar a la suministrada por el software comercial Metercat. Como resultado del trabajo se ha concluido que la tecnología de comunicación para transmitir los datos es indistinta debido a que ambas tienen un retardo mínimo para la visualización en la plataforma. Las simulaciones de rendimiento mediante software definieron que el servidor soporta un acceso simultáneo máximo de 50 usuarios y 100 nodos. GPRS ofrece 97.1% de disponibilidad de datos. El prototipo instalado cumple con los requerimientos para ser un sistema confiable y escalable que brinda información de ayuda en el campo energético para tomar decisiones de optimización de energía. Se recomienda implementar un servidor y página web privados para mejorar el almacenamiento, visualización y seguridad de la información.

Palabras claves: <REDES DE COMPUTADORAS>, <TELECOMUNICACIONES>, <TELEMEDICIÓN> <CALIDAD DE ENERGÍA> <ENERGÍA ELÉCTRICA>, <TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN>



Abstract

Integrable nodes were designed and built to a telemetry network for electrical parameters for the industrial sector called Telenergy. The prototype consists of two essential nodes that work under star topology, the Acquisition and Data Processing (NAP), which extracts information to process and transmit it to a server in the cloud, using Wifi communication technologies or General Package Radio Service (GPRS) depending on the availability and geographic location of the factory-installed meter. The Storage and Visualization Node (NAV) stores and displays instant and historical information on an Internet of Things (IoT) ThingsBoard platform in a graphical and interactive environment ideal for subsequent analysis processes. The platform allows users with different levels of access and password as administrators of the distribution company and final customers. Based on the analysis of the information in hexadecimal provided by the three-phase meter ELSTER ALPHA A3, a decoding software was developed that works under the C12.18 standard and allows the prototype to display information regarding billing and energy quality analysis, similar to the one supplied by the commercial software Metercat. As a result of the work, it concluded that the communication technology to transmit the data is indistinct because both have a minimum delay for viewing on the platform. Software performance simulations defined that the server supports maximum simultaneous access of 50 users and 100 nodes. GPRS offers 97.1% of data availability. The installed prototype meets the requirements to be a reliable and scalable system that provides helpful information in the energy field to make energy optimisation decisions. It is recommended to implement a private server and web page to improve the storage, display and security of information.

Keywords: <COMPUTER NETWORKS>, <TELECOMMUNICATIONS>, <TELEMETRY> <ENERGY QUALITY> <ELECTRIC POWER>, <INFORMATION TRANSMISSION>.



INTRODUCCIÓN

El sector industrial es uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en el mundo, utilizando el 46,7% del total de la energía producida, por lo tanto, los altos costos de facturación generados al producirse pérdidas de energía afectan tanto técnica como económicamente al consumidor final debido a la falta de técnicas de supervisión del consumo eléctrico y sistemas de medición utilizados (Tama, 2014).

Las pérdidas de energía en el mundo son de aproximadamente 290 TWh. Cada año se pierde el 6% de electricidad de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) como: Alemania, Bélgica, Italia, Japón, etc., 15% los países de bajos ingresos, 17% en América Latina y el Caribe(ALC). El costo anual de estas pérdidas en América Latina se estima entre 11000 y 17000 millones de dólares. A pesar del extenso impacto económico de las pérdidas eléctricas existen limitantes para comparar o identificar los tipos de pérdidas entre transmisión y distribución o entre técnicas y no técnicas (Jiménez, Serebrisky y Mercado, 2014).

En el año 2018 a nivel nacional se generó 23.745,35 GWh de energía eléctrica y las pérdidas en los sistemas de distribución fueron de 2.705,29 GWh que representan el 11,39% entre técnicas y no técnicas (Arcotel, 2018a).

Las causas principales de pérdidas no técnicas o comerciales son: robo y/o fraude, energía no contabilizada y problemas de gestión comercial, abarca el 80% de las pérdidas de distribución en América Latina. Con la finalidad de reducir estas pérdidas se han implementado en diferentes partes del mundo nuevas tecnologías de control de uso eficiente de la energía como los equipos de medición con soporte de telegestión (Jiménez, Serebrisky y Mercado, 2014).

En la actualidad en muchos países de Europa y Latinoamérica se están implementando proyectos de Telemedición, los cuales utilizan medidores inteligentes residenciales e industriales capaces de enviar toda la información hacia una central de monitores, la cual se utilizan para la gestión, operación y optimización del sistema eléctrico (La Vanguardia, 2019).

En Ecuador, algunas empresas distribuidoras de energía eléctrica disponen de Sistemas de Telemedición con equipos inteligentes residenciales e industriales que envían la información hasta un centro de control y monitoreo (Empresa Eléctrica Quito, 2015).

En el año 2012 se presentó un trabajo de titulación de un prototipo de lectura automática de medidores industriales, el cual se enfocaba en solucionar el problema de robo de energía eléctrica proporcionando información en línea a través de GPRS a los distribuidores de energía sobre el consumo y alteraciones en los medidores de sus usuarios (Montesdeoca, 2012, p. 4-7).

Sin embargo, se desconoce que la información obtenida de estudios anteriores sea proporcionada al usuario final, por tal motivo la presente propuesta de trabajo de titulación busca estructurar una red de Telemedición de parámetros eléctricos que permita almacenar, monitorear y suministrar información en tiempo real. Esta información servirá como herramienta de ayuda a la empresa proveedora para mejorar la calidad de servicio e infraestructura eléctrica y a los usuarios para gestionar y ahorrar energía.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible diseñar y construir nodos integrables a una red de telemedición de parámetros eléctricos para el sector industrial?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Qué variables eléctricas son importantes para el sector industrial y que equipos pueden leer y transmitir estas variables?
- ¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el prototipo de red?
- ¿Qué *hardware* y *software* nos permite desarrollar el prototipo de red que se adapte a la realidad de la zona?
- ¿Cómo diseñar y construir el prototipo de red de telemedición?
- ¿El prototipo cumple con los requerimientos establecidos?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En el presente trabajo en adelante se denominará:

Empresa distribuidora: a todas aquellas empresas que suministren energía eléctrica a lo largo del país.

Red eléctrica externa: a toda la infraestructura física perteneciente a las empresas proveedoras de energía eléctrica.

Usuario final o Cliente: a todos los grandes consumidores de energía eléctrica como fabricas industrias y grandes empresas.

Red eléctrica interna: a toda la instalación eléctrica perteneciente al usuario.

En la actualidad el consumo de la energía eléctrica de las industrias es monitoreado una vez al mes y de manera presencial por un operario de la empresa distribuidora, careciendo de eficiencia, control de pérdidas y calidad de energía. Por lo tanto, es necesario incentivar el uso eficiente de recursos para evitar la pérdida injustificada de energía. Esta mejora se logra a través de un diagnóstico energético bien estructurado que permita identificar las áreas afectadas por la pérdida de energía para implementar buenas prácticas de producción (Reinoso y Salazar, 2017, p.1).

Las innovaciones tecnológicas de información y comunicación se convierten en un aliado importante a la hora de cubrir nuevas demandas en el sector energético, haciendo posible contar con información en tiempo real suministrada por medidores inteligentes a infraestructura de telecomunicaciones y sistemas centrales que permite una gestión remota y automática de la red, encaminándose cada vez más a las Smart Grid (Empresas Electricas AG, 2018).

Alrededor del mundo los fabricantes más importantes de medidores eléctricos como Honeywell, General Electric, Itron, Iskraemeco entre otros, buscan siempre estar a la par con la tecnología por ello entre sus productos élite se encuentran los medidores inteligentes. Estos permiten leer una diversidad de parámetros eléctricos, son compatibles con módulos de comunicación y software desarrollados por el fabricante para adquirir y transmitir los datos de forma local y/o remota (Aldas, 2015).

China lidera el mercado en el desarrollo de medición avanzada, instalando a su vez mas de 100 millones de medidores inteligentes a sus abonados del servicio eléctrico seguido por Japón y EE-UU con más de 20 millones, permitiendo la expansión de redes eléctricas inteligentes a través de su territorio (Roca, 2019).

Los países de Europa trabajan en conjunto con empresas como PPC (*Power Plus Communications por sus siglas en inglés*) para implementar tecnología en medición de energía eléctrica con redes inteligentes que incorporarán una variedad de instrumentos de medida que facilitan el control y la gestión de la red de manera bidireccional, en España se plantea como meta para el 2020 la instalación de equipos con Telemetría al 80% de sus abonados. (Diario Oficial de la Unión Europea, 2012).

Países como Estados Unidos, México, Chile, Argentina, Colombia, Perú, Ecuador se está impulsando la Telemedición con “easymetering”, que provee productos y servicios para las distribuidoras eléctricas y productores de energía en una infraestructura de medición avanzada (Osore, 2016).

En Ecuador el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), Ministerio de Electricidad y Energía renovable (MEER), y Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) han desarrollado el “Mapa de ruta de redes inteligentes” en el cual se estima que se dispondrá de todas sus capacidades en el año 2030. Algunas empresas distribuidoras de Energía eléctrica de las principales ciudades como “EEQ” y CNEL Guayaquil disponen de Sistemas de Telemedición con equipos inteligentes residenciales e industriales, además se están realizando estudios para desplegar la instalación en otras ciudades del país (Mora, 2016, p.46).

En el año 2012 en la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL se presentó un trabajo de titulación “Prototipo de lectura automática de medidores industriales” (Montesdeoca, 2012, p. 4-7).

En todas las investigaciones estudiadas anteriormente la información generada es proporcionada solamente a la empresa proveedora, limitando al usuario final a admitir las decisiones tomadas por la misma en casos de errores de facturación y sanciones, además de no poder realizar correcciones oportunas si presenta problemas dentro de la red eléctrica interna. Es por esto que se plantea realizar un “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE NODOS INTEGRABLES A UNA RED DE TELEMEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS PARA EL SECTOR INDUSTRIAL”, el cual mediante una selección adecuada de la tecnología de acceso a internet permitirá el monitoreo continuo de la red eléctrica y será una herramienta de ayuda tanto para el usuario como para la empresa proveedora. Con la información histórica almacenada se podrá realizar procesos de confiabilidad, calidad de servicio, optimización y mantenimiento de operaciones. También permitirá la gestión de demanda y eficiencia energética. Todo esto basado en el cumplimiento del Objetivo 5 “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria” del Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo de investigación busca desarrollar e implementar un prototipo de nodos de red para el control y monitoreo en tiempo real de parámetros eléctricos en el sector industrial, el sistema iniciará con el estudio de variables eléctricas importantes para la facturación y calidad de energía en el sector industrial, luego se estudiará los equipos de medición capaces de leer y transmitir dichas variables. Se plantea la instalación y configuración de medidores seleccionados de acuerdo con el tipo de usuario final.

La información se extraerá con una tarjeta de desarrollo y dependiendo de la zona geográfica se determinará cual es la tecnología de comunicación adecuada para que los datos se transmitan mediante un módulo de comunicación hacia un servidor web para visualizarlos en tiempo real, la información se almacenará en una base de datos para generar históricos de los parámetros medidos.

Se dispondrá de alarmas que indiquen la existencia de problemas en variables que intervienen en el mejoramiento de la red eléctrica interna y externa, esta información será proporcionada a grupos de trabajo especializados de la empresa distribuidora de energía eléctrica con la finalidad de mejorar y ofrecer una mejor calidad de servicio, adicionalmente los datos y alertas serán visualizados por el usuario final permitiendo corregir de manera inmediata los errores presentados en la red eléctrica interna favoreciendo la optimización de recursos energéticos optimizando el valor de la factura eléctrica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir nodos integrables a una red de telemedición de parámetros eléctricos para el sector industrial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las variables eléctricas importantes en el sector industrial y que equipos pueden leer y transmitir estas variables
- Establecer cuáles son los requerimientos que debe cumplir el prototipo de red.
- Definir el *hardware* y *software* que permitan desarrollar el prototipo de red que se adapta a la realidad de la zona.
- Diseñar y construir el prototipo de red de telemedición.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo de red en base a los requerimientos establecidos.

El presente trabajo de titulación se compone por: la primera sección que contiene el resumen e introducción, tres capítulos que indican los métodos empleados para alcanzarlos objetivos planteados seguidamente de conclusiones y recomendaciones. El primer capítulo es el marco teórico, contiene la revisión bibliográfica del problema, estándares, selección de componentes electrónicos y tecnologías a utilizar. El segundo capítulo es el marco metodológico, en este se exponen los elementos *hardware* y *software* que integran el prototipo. Por último, en el tercer capítulo se presentan análisis y resultados de pruebas de funcionamiento, rendimiento y escalabilidad conjuntamente con las conclusiones respectivas obtenidas durante el desarrollo de diseño e construcción del prototipo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

Este capítulo define qué son los clientes industriales, medidores de energía eléctrica y sus tipos, tecnologías inalámbricas y de acceso a internet con sus distintas topologías de red. También se detalla las diferentes tarjetas de desarrollo y los estándares utilizados para el almacenamiento y transmisión de información. Además, se indica los tipos de plataformas IoT (*Internet of Things*, por sus siglas en inglés) y de servicio en la nube.

1.1. Clientes industriales

Según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) son aquellos cuyo consumo promedio de energía es de 9.000 kWh al mes, en Ecuador este grupo representa el 0,83% del total de abonados a nivel nacional y consumen el 32% de la energía total generada en el país. Se estima que para el año 2022 esta cifra aumentara al 40%, es por ello que se instalan medidores específicos para este sector (ARCONEL, 2018).

1.2. Medidores de energía eléctrica

Poseen componentes electrónicos o electromecánicos que permiten conocer el consumo de energía del servicio eléctrico, facilitando a la empresa distribuidora determinar el costo de la cantidad de energía usada por los clientes finales (Motta y Lombardero, 2019).

1.2.1 Tipos de medidores de energía eléctrica.

Como se muestra en la figura 1-1, los medidores eléctricos se clasifican en tres tipos: por su constitución, de acuerdo con la energía que miden y por su conexión con la red.

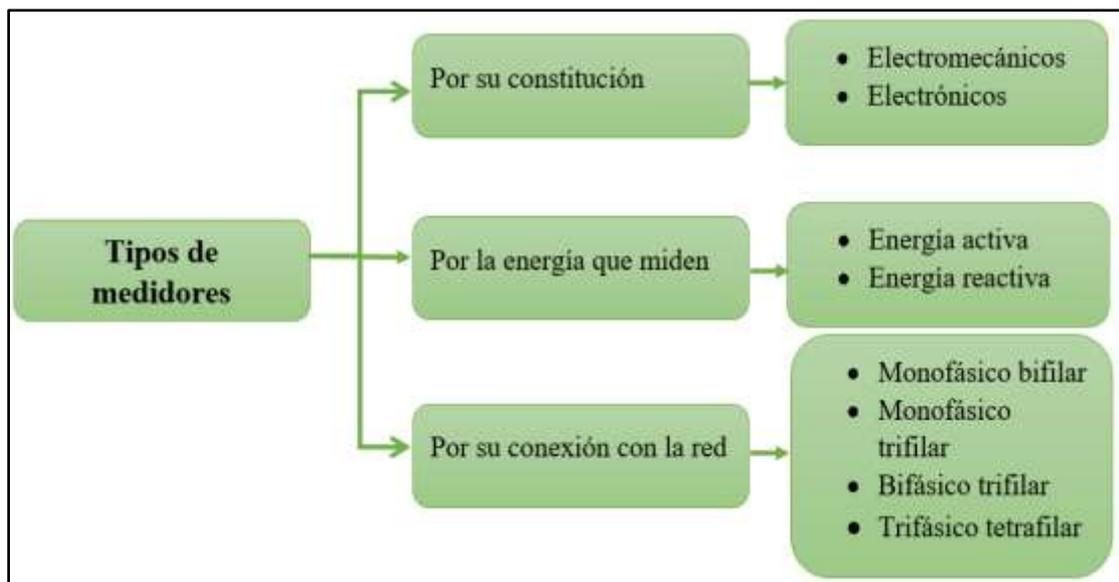


Figura 1-1: Tipos de medidores

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Por su constitución. Hay dos tipos, medidores electromecánicos y electrónicos. Los electromecánicos están constituidos por un núcleo magnético junto con la bobina de intensidad y la bobina de tensión. Su característica principal es proporcionar datos digitales que son utilizados para la lectura de medición remota (Morales y Rodríguez, 2013).

Los electrónicos son de mayor precisión, proveen información en tiempo real y no trabajan con campos magnéticos lo que dificulta la alteración del mismo. Están constituidos por microprocesadores y circuitos integrados que digitalizan las señales de tensión y corriente para mostrar algunos parámetros de medición, por ejemplo: la frecuencia, la potencia, el consumo, las fases de tensión y corriente, etc (Armijos y Pesántez, 2016).

De acuerdo con la energía que miden. Existen medidores de energía activa y reactiva, la primera se mide en kilovatios por hora y la segunda en kilovares por hora, esta última es calculada en los medidores electrónicos (Morales y Rodríguez, 2013). En el sector de industrial se factura tanto la energía activa como reactiva, por esta razón se utiliza equipos que miden los 2 tipos de energía (Sinelec, 2018).

Por su conexión con la red. Existen los monofásicos bifilares y trifilar, bifásico trifilar y trifásicos tetrafilar. El medidor monofásico bifilar es de una fase y un neutro de uso frecuente en las instalaciones domiciliarias, consta de una bobina de corriente y una de voltaje, el amperaje varía entre los 15 y 60 Amperios. El medidor monofásico trifilar consta de dos bobinas de corriente y dos bobinas de tensión, utilizados para equipos a 220 Voltios. El medidor bifásico

trifilar consta de dos bobinas de corriente y dos bobinas de voltaje, utilizados para dispositivos que funcionan con dos fases de 208 y 220 Voltios. El medidor trifásico tetrafilar se compone de tres bobinas de corriente y tres bobinas de voltaje, se usan en equipos de tres fases de 208 voltios (Heredia, 2013).

1.2.2 Medidores electrónicos inteligentes de energía eléctrica.

Son equipos avanzados de alta precisión que a diferencia de los medidores convencionales proporcionan información en tiempo real, pueden integrarse a una red de telecomunicaciones y a un sistema centralizado de seguimiento de datos (Empresas Electricas AG, 2018). Actualmente se realizan lecturas presenciales mediante un *software* propietario del fabricante.

Las características más destacadas son (CIRCUITOR SA, 2019,p.5):

- Posee comunicación IP (*Internet Protocol, por sus siglas en inglés*).
- Trabaja con comunicación bidireccional mediante radio frecuencia
- Permite la recolección de datos de forma programada o cuando sea necesario.
- La seguridad de la información es robusta y cifrada.
- Gestión remota y automática de la red.
- Tiene gran variedad de conexiones (conexión indirecta, semi-directa, directa).
- Mide, registra y envía parámetros de potencia y energía, calidad de la energía.

1.2.2.1 Componentes de los medidores inteligentes.

Poseen base y tapa de policarbonato para protegerlo de rayos ultravioleta, pantalla LCD (*Liquid Cristal Display, por sus siglas en inglés*) que permite visualizar el consumo y un sistema electrónico micro procesado encargado del correcto funcionamiento del equipo. Tienen una memoria interna que almacena información bajo el estándar ANSI (*American National Standards Institute, por sus siglas en inglés*) C12.19 y una interfaz óptica de comunicación para lectura y configuración del equipo por medio del estándar ANSI C12.18 (Elster, 2003).

1.2.2.2 Parámetros eléctricos.

A través de ellos se puede medir y cuantificar información de interés en un tiempo dado para definir el comportamiento de un sistema (Daniel Lazo, 2013, p.2). Después de consultar con personal técnico de Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) se determinó que los parámetros detallados en las tablas 1-1 y 2-1 son necesarios para realizar análisis de calidad de energía y facturación.

Tabla 1-1: Parámetros eléctricos para análisis de calidad de energía

| Variable | Aplicación | Unidad |
|------------------------------|---------------|----------------------|
| Voltajes | Fase A | Voltios |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| Corrientes | Corriente A | Amperios |
| | Corriente B | |
| | Corriente C | |
| Ángulos de fase de voltaje | Angulo fase A | Grados decimales |
| | Angulo fase B | |
| | Angulo fase C | |
| Ángulos de fase de corriente | Angulo fase A | Grados decimales |
| | Angulo fase B | |
| | Angulo fase C | |
| Factor de potencia | Fase A | Adimensional (0 - 1) |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| | Sistema | |
| Angulo de factor de potencia | Fase A | Grados decimales |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| | Sistema | |
| Potencia activa | Fase A | kW |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| | Sistema | |
| Potencia reactiva | Fase A | kVAR |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| | Sistema | |
| Potencia aparente | Fase A | kVA |
| | Fase B | |
| | Fase C | |
| | Sistema | |
| Frecuencia | Sistema | Hz |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 2-1: Parámetros eléctricos para facturación.

| Variable | Unidad |
|------------------------------------|----------------|
| Energía activa consumida | kWh |
| Energía reactiva consumida | kVar |
| Factor de potencia | |
| Demanda máxima de energía activa | kW |
| Demanda máxima de energía reactiva | kVar |
| Fecha y hora de demanda máxima | Aa/mm/dd hh:mm |
| Energía activa recibida | kWh-Rec |
| Energía reactiva recibida | kVarh- Rec |
| Fecha y hora de evento | Dd/mm/aa hh:mm |
| Evento | Texto |
| Usuario responsable | Numero |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

1.3. Normas ANSI para medidores inteligentes.

Son directrices a considerar por los fabricantes para lograr una interoperabilidad entre las distintas marcas de medidores y dispositivos finales, esto permite mejorar la adquisición de datos y el avance de las tecnologías. (Collaguazo y Garcia, 2015). Los medidores inteligentes utilizan principalmente el estándar C12.19 para almacenar los datos y C12.18 para transmitirlos.

1.3.1 Estándar C12.19

Define un conjunto de tablas con una estructura común de datos que se transmiten entre un equipo y un dispositivo final, existen tablas estándar y de fabricantes. La figura 2-1 muestra que las tablas se agrupan en décadas y cada una muestra un tipo de información específica como: el tiempo de uso, perfil de carga, etc (NEMA, 2008).

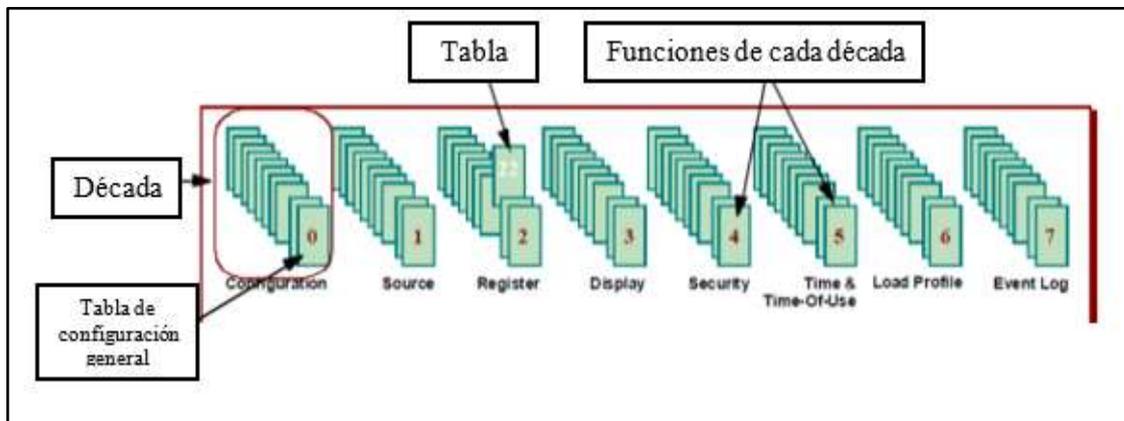


Figura 2-1: Estructura de tablas del estándar ANSI C12.19

Fuente: (Montesdeoca, 2012, p. 18)

1.3.1.1 Estructura de tablas.

Para facilitar la interpretación de los datos, se define una estructura común de tablas que utilizan una combinación de los formatos de sintaxis descriptiva Backus Naur y XML (*Extensible Markup Language, por sus siglas en inglés*) simple (NEMA, 2008). Para explicar esta estructura, la figura 3-1 muestra como ejemplo la tabla 00 del estándar.

| Table 00 Type Definitions | |
|---|--|
| TYPE FORMAT_CONTROL_1_BFLD = BIT FIELD OF UINT8 ← | |
| DATA_ORDER | : UINT(0..0); |
| CHAR_FORMAT | : UINT(1..3); |
| MODEL_SELECT | : UINT(4..6); |
| FILLER | : FILL(7); |
| END; | |
| TYPE FORMAT_CONTROL_2_BFLD = BIT FIELD OF UINT8 ← | |
| TM_FORMAT | : UINT(0..2); |
| DATA_ACCESS_METHOD | : UINT(3..4); |
| ID_FORM | : UINT(5..5); |
| INT_FORMAT | : UINT(6..7); |
| END; | |
| TYPE FORMAT_CONTROL_3_BFLD = BIT FIELD OF UINT8 ← | |
| NI_FORMAT1 | : UINT(0..3); |
| NI_FORMAT2 | : UINT(4..7); |
| END; | |
| TYPE GEN_CONFIG_RCD = PACKED RECORD ← | |
| FORMAT_CONTROL_1 | : FORMAT_CONTROL_1_BFLD; ← |
| FORMAT_CONTROL_2 | : FORMAT_CONTROL_2_BFLD; ← |
| FORMAT_CONTROL_3 | : FORMAT_CONTROL_3_BFLD; ← |
| DEVICE_CLASS | : BINARY(4); |
| NAMEPLATE_TYPE | : UINT8; |
| DEFAULT_SET_USED | : UINT8; |
| MAX_PROC_PARM_LENGTH | : UINT8; |
| MAX_RESP_DATA_LEN | : UINT8; |
| STD_VERSION_NO | : UINT8; |
| STD_REVISION_NO | : UINT8; |
| DIM_STD_TBLS_USED | : UINT8; |
| DIM_MFG_TBLS_USED | : UINT8; |
| DIM_STD_PROC_USED | : UINT8; |
| DIM_MFG_PROC_USED | : UINT8; |
| DIM_MFG_STATUS_USED | : UINT8; |
| NBR_PENDING | : UINT8; |
| STD_TBLS_USED | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_STD_TBLS_USED); |
| MFG_TBLS_USED | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_MFG_TBLS_USED); |
| STD_PROC_USED | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_STD_PROC_USED); |
| MFG_PROC_USED | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_MFG_PROC_USED); |
| STD_TBLS_WRITE | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_STD_TBLS_USED); |
| MFG_TBLS_WRITE | : SET(GEN_CONFIG_TBL.DIM_MFG_TBLS_USED); |
| END; | |
| TABLE 0 GEN_CONFIG_TBL = GEN_CONFIG_RCD; _____ | |

Figura 3-1: Ejemplo de estructura de tablas

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

1.3.2 Estándar C12.18

Detalla los criterios necesarios para la comunicación entre un cliente y un dispositivo C12.18 mediante un puerto óptico. Las funciones principales son: establecer y modificar el canal de comunicación, transportar la información desde y hacia dispositivos C12.18, por último, cierra ordenadamente todas las comunicaciones activas. Utiliza la capa física, enlace de datos y capa de aplicación del modelo OSI (*Open System Interconnection, por sus siglas en inglés*), esta última provee los servicios que se muestran en la tabla 3-1 para solicitar la transmisión de datos (NEMA, 2004).

Tabla 3-1: Servicios del Estándar C12.18

| Ítem | Servicio | Código de Petición |
|-------------|------------------|------------------------------|
| 1 | Identificación | 20H |
| 2 | Lectura | 30H (Completa) 3FH (Parcial) |
| 3 | Escritura | 40H (Completa) 4FH (Parcial) |
| 4 | Inicio de sesión | 50H |
| 5 | Seguridad | 51H |
| 6 | Cierre de sesión | 52H |
| 7 | Negociación | 61H |
| 8 | Espera | 70H |
| 9 | Terminación | 21H |

Fuente: (Montesdeoca, 2012, p. 4-7)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

1.3.2.1 Estructura de paquetes.

Un paquete de solicitud y/o respuesta de servicio está constituido de 7 elementos que se describen en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Elementos que conforman un paquete

| Dato | Longitud | Código hexadecimal | Descripción |
|----------|-------------------------|--------------------|---|
| Stp | Byte (8 bits) | EE | Carácter de inicio de todo paquete |
| Identity | Byte (8 bits) | 00-FE | Identificativo del dispositivo. En una comunicación punto a punto se utiliza 00-FE, en otro tipo de conexión 01-FE |
| Ctrl | Byte (8 bits) | Campo de Control | |
| | | Bit 7 | 0 lógico si es un solo paquete, 1 si el paquete es parte de un grupo de paquetes. |
| | | Bit 6 | 1 lógico si es el primer paquete de múltiples. El bit 7 también será 1 lógico |
| | | Bit 5 | Bit cambiante para rechazar paquetes duplicados. Cambia por cada nuevo paquete enviado o transmitido. |
| | | Bit 4-2 | Reservados (deben ser 0 lógico) |
| | | Bits 1-0 | Determinan el formato de datos 0 = ANSI C12.18 o C12.21 1 = ANSI C12.22 2 = Reservado 3 = Reservado |
| Seq-nbr | Byte (8 bits) | | Número que decrementa en 1 por cada paquete enviado. El primer paquete de una transmisión de múltiples paquetes deber ser igual a el número total de paquetes. Si se transmite 1 solo paquete los bits 6 y 7 de Ctrl serán 0. |
| Length | Word (16 bits) | | Longitud del paquete. |
| Data | Byte (8 bits) | | Bytes de Información útil. |
| CRC | LSByte+MSByte (16 bits) | | CRC, Comprueba la integridad de los paquetes, calculado con todos los componentes del paquete. |

Fuente: (Montesdeoca, 2012, p. 33)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

1.4. Tarjetas de desarrollo

Son placas electrónicas compuestas por circuitos impresos, memorias de almacenamiento, entradas y salidas analógicas, digitales, reguladores de voltaje, entradas de alimentación, indicadores de recepción y transmisión, puertos USB, seriales, además son compatibles con

sensores, módulos inalámbricos y tarjetas microSD (Paredes, 2017). Poseen su propio lenguaje de programación, existen una gran variedad en el mercado tecnológico, a continuación, se describen las más conocidas.

1.4.1 Arduino

Es una placa de desarrollo integrada por un microcontrolador ATMEL de código abierto, el *software* y *hardware* es libre, flexible y de fácil uso para los desarrolladores. Permite conectar diferentes dispositivos a las entradas y salidas (Xataka, 2019). La figura 4-1 muestra algunos de los modelos que existen actualmente.



Figura 4-1: Modelos comunes de Arduino.

Fuente: (Xataka, 2019)

1.4.2 NodeMCU

Basada en el módulo ESP8266 es una placa de desarrollo abierta tanto en *hardware* y *software*. Como se aprecia en la figura 5-1, tiene integrado un puerto micro USB, un conversor Serie-USB y pines de conexión que permiten la instalación de sensores, posee botón de reinicio y se puede programar igual que un arduino (Llamas, 2019).



Figura 5-1: NodeMCU

Fuente: (Llamas, 2019)

1.4.3 Raspberry Pi

Es un ordenador de bajo costo creada por la fundación que lleva el mismo nombre con el objetivo de incentivar el desarrollo de proyectos electrónicos, posee grandes ventajas frente a otros dispositivos como bajo consumo, alta compatibilidad con accesorios, tamaño reducido, alta resolución de video entre otros (Durán, 2013). La figura 6-1 muestra la Raspberry Pi 3 modelo B.



Figura 6-1: Raspberry Pi 3B

Fuente: (Raspberry Shop, 2017)

1.4.4 Comparación entre las tarjetas de desarrollo

Para realizar una comparativa se seleccionaron modelos de fácil adquisición dentro de la ciudad, la tabla 5-1 muestra las características más importantes a analizar, estas son, capacidad de almacenamiento, disponibilidad de puertos de comunicación y conectividad.

Tabla 5-1: Cuadro comparativo de las tarjetas de desarrollo.

| Características | Arduino uno | Raspberry Pi 3B | NodeMCU ESP8266 |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Voltaje y Corriente de alimentación | 5 – 9 V / 500mA | 5v / 2 A | 5v / 1100mA |
| RAM | 2 KB | 1 Gb | 96KB |
| Puertos USB | 1 | 4 | 1 |
| Capacidad almacenamiento | 32 KB | Tarjeta SD | 4MB |
| Conectividad | - | Ethernet - Wifi | - |
| Costo | 22 USD | 60 USD | 15 USD |

Fuente: (Paredes, 2017)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar, 2019.

Después de analizar tabla 5-1 se decide utilizar la Raspberry Pi 3B debido a su mayor capacidad de almacenamiento y conectividad dado que estas características son fundamentales para el desarrollo del proyecto.

1.5. Tecnologías de acceso a internet.

Existen diferentes métodos, cada uno funciona de distinta manera y su costo varía de acuerdo con sus características, los más comunes en la actualidad son a través banda ancha, red celular y satelital.

1.5.1 Banda ancha.

Considerado por la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones (ARCOTEL) a las conexiones a internet superiores a 1024 kbps, sin embargo, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU por sus siglas en inglés*) define este valor a partir de 256 kbps. Por lo general los clientes acceden a internet mediante redes de fibra óptica o enlaces radioeléctricos (Arcotel, 2018a).

1.5.2 Internet satelital.

Permite el acceso a internet a través de una comunicación bidireccional entre un satélite y la antena parabólica, necesita línea de vista y su costo es mayor debido a que requiere equipos especiales para la transmisión y recepción de datos (McDowell, 2014).

1.5.3 (GPRS) General Packet Radio Service

Es una tecnología de telefonía móvil basada en la conmutación de paquetes sobre la red celular. Estandarizado por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute, por sus siglas en inglés*) para permitir la transmisión de datos a mayor velocidad por redes inalámbricas. Trabaja

con la velocidad de transmisión de 21.4 Kbps de subida y de 144 Kbps de bajada (LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES EN LA EDUCACION VIRTUAL, 2019).

1.5.4 Selección de tecnología de acceso a internet.

Según el boletín estadístico de la ARCOTEL al finalizar el año 2018 el 92,65% de la población en Ecuador tiene acceso al Servicio Móvil Avanzado (SMA), como se muestra en la figura 7-1, CONECEL es la compañía que cuenta con la mayor infraestructura para dar servicio de acceso a internet (Arcotel, 2018a). Por otro lado, según el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL), en el presente año el 93,47% de las pequeñas y medianas empresas cuentan con acceso a internet a través de banda ancha (Mintel, 2017).

Después de haber analizado la información anterior se decide utilizar las tecnologías de acceso a internet de banda ancha y GPRS debido a su mayor disponibilidad a nivel del país.

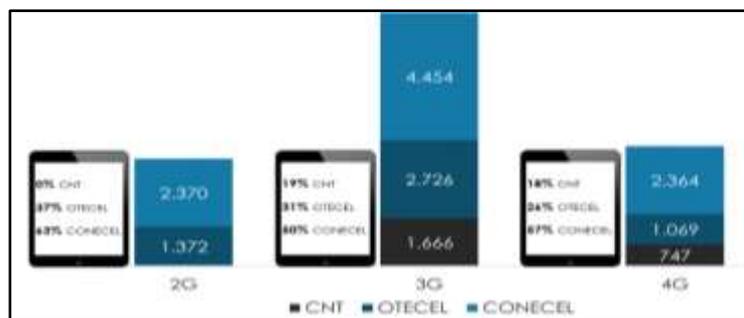


Figura 7-1: Porcentaje de radio bases instaladas por tecnología.

Realizado por: (Mintel, 2017)

1.6. Tecnologías inalámbricas

Se caracterizan por facilitar la comunicación entre un emisor y receptor a través de medios no guiados. A continuación, se describen algunas de estas (247TECNO, 2018).

1.6.1 Infrarrojo

Utiliza pulsos de luz para la transferencia de datos entre equipos y tiene un alcance de 0-5 metros. Necesita de una línea de vista directa entre el transmisor y receptor, se emplea en dispositivos próximos el uno al otro, su velocidad de transmisión va desde 115 kbps hasta las 14 Mbps (Techlandia, 2019).

1.6.2 Bluetooth

Es un tipo de conexión utilizada para transferir datos entre dos dispositivos utilizando la banda de frecuencia de 2,4 GHz IMS (*por sus siglas en inglés Industrial, Scientific and Medical*). El más utilizado es BlueTooth 2.0 el cual tiene una velocidad de transmisión de hasta 3 Mbps y un alcance de 10 metros, estas características mejoran en las nuevas versiones 4.0 y 5.0 (330ohms, 2017).

1.6.3 Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Utiliza el estándar 802.11 creado por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics, por sus siglas en inglés*), permite la compatibilidad para la creación de WLAN (*Wireless Local Area Network, por sus siglas en inglés*). La velocidad de transmisión habitual es de 50 a 60 Mbps, esta tecnología se utiliza en servidores para IoT, PC, impresoras, celulares, etc. (Electronica SL, 2016).

1.6.4 Zigbee

Es una tecnología que trabaja con el protocolo IEEE 802.15.4, su banda de frecuencia es de 2.4 GHz y el rango del alcance esta entre 10 y 100 metros en áreas delimitadas, se centra en aplicaciones domóticas e industriales y su velocidad de transmisión es de 250 Kbps (Electronica SL, 2016).

1.6.5 Cuadro comparativo entre las tecnologías Bluetooth, Wi-Fi y Zigbee

En la tabla 6-1 se indica las principales características de 3 tecnologías mencionadas anteriormente, se analiza velocidad de transmisión, alcance, escalabilidad y aplicaciones.

Tabla 6-1: Diferencias entre las tecnologías Bluetooth Wifi y ZigBee

| Características | Wi-Fi | Bluetooth | ZigBee |
|---------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| Numero de nodos | 32 | 7 | 64000 |
| Velocidad de comunicación | 54 Mbps | 3 Mbps | 250 kbps |
| Alcance | 100 m | 10-100 m | 70-100 m |
| Tipos de datos | Video, audio y datos | Audio, gráficos y archivos | Datos |
| Aplicación | Acceso a internet | Comunicación entre dispositivos | Redes de sensores. |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Al analizar la tabla 6-1 se decide utilizar la tecnología Wi-Fi debido a que generalmente se utiliza para conexiones a internet soportando mayor número de dispositivos y su velocidad de transmisión es mayor a las otras dos tecnologías.

1.7. Topologías de red

Es un modelo de interconexión entre los diferentes dispositivos de una red de datos o servidores, basándose en estándares y protocolos. (Sandoval, 2011). Existen varias topologías, a continuación, se detallan algunas de ellas.

Topología estrella. Está conformada por un nodo principal al que se conectan todos los demás nodos, no tiene interconexiones entre los dispositivos debido a que la información viaja directamente al nodo central (247TECNO, 2019). La figura 8-1 muestra un esquema de conexión de esta topología.

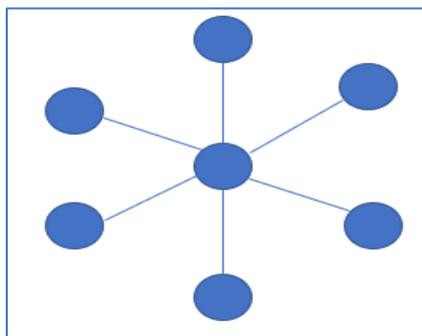


Figura 8-1: Topología estrella.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Topología tipo malla. Como se muestra en la figura 9-1, es un diseño descentralizado donde cada nodo de la red se conecta a dos o más nodos. Se espera que estas redes sean utilizadas principalmente en el internet de las cosas (CONELEC, 2014).

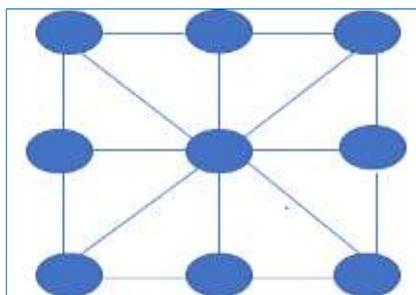


Figura 9-1: Topología malla

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Topología bus o lineal. Los nodos se conectan directamente a un único canal denominado troncal o backbone tal como se indica la figura 10-1. (247TECNO, 2019).

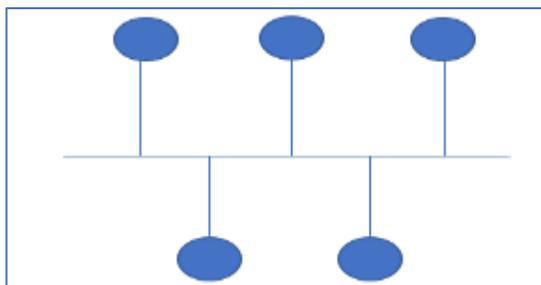


Figura 10-1: Topología bus

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019

Topología árbol. Se define como la combinación de las topologías bus y estrella como se muestra en la figura 11-1 (Techopedia, 2019).

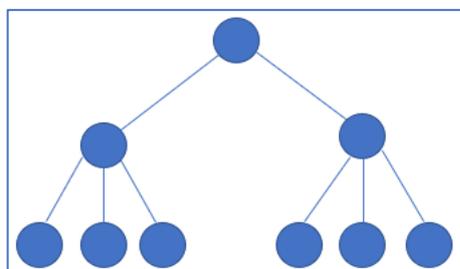


Figura 11-1: Topología Árbol

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019

Topología anillo. Cada nodo posee dos conexiones, una de entrada que llega desde el nodo anterior y otra de salida la cual se conecta al nodo posterior, la figura 12-1 muestra un ejemplo de conexión de esta topología (247TECNO, 2019).

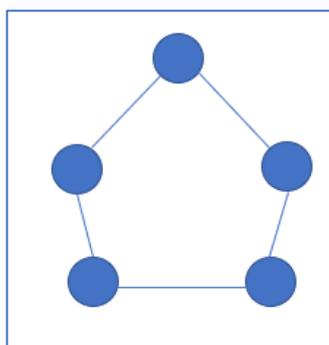


Figura 12-1: Topología Anillo

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

1.7.1 Cuadro comparativo de topologías de red.

En la tabla 7-1 se compara las características de: escalabilidad, rendimiento, estabilidad, complejidad de construcción y costo de implementación.

Tabla 7-1: Comparación entre las diferentes topologías de red.

| Características | Estrella | Malla | Bus | Árbol | Anillo |
|------------------------------|----------|-------|-------|-------|--------|
| Escalabilidad | Alta | Alta | Alta | Media | Baja |
| Velocidad de transmisión | Alto | Medio | Medio | Alta | Baja |
| Estabilidad | Media | Alta | Baja | Media | Alta |
| Complejidad de construcción. | Baja | Alto | Baja | Alto | Baja |
| Costo de implementación | Baja | Alto | Medio | Alto | Baja |

Fuente: (247TECNO, 2019)

Realizado por: Roque, Liliana, Granda, Edgar, 2019.

Una vez analizado la información de la tabla 7-1 se determina utilizar la topología estrella debido a su alta capacidad de escalabilidad y velocidad de transmisión además de bajo costo de implementación.

1.8. Plataformas IoT

Es la base para la interconexión entre dispositivos para generar su propio entorno IoT utilizando diferentes protocolos de comunicación, recopilan y muestran los datos mediante un interfaz gráfica para análisis posteriores (America Digital News, 2019).

1.8.1 ThingSpeak

Es un servicio de análisis de IoT que permite agregar datos desde sus dispositivos, crear una visualización instantánea en vivo y enviar alertas. Como se muestra en la figura 13-1 utiliza algoritmos basados en Matlab para el análisis de datos de los sensores (MathWorks, 2019).

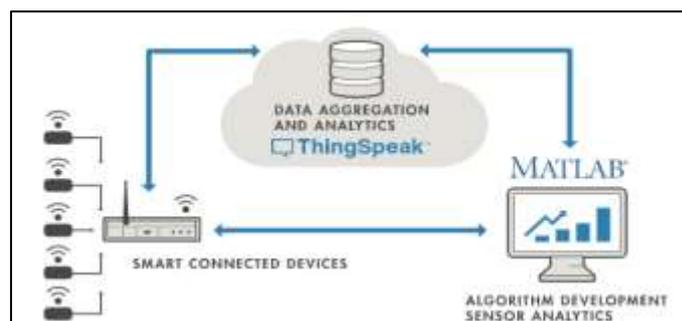


Figura 13-1: Plataforma ThingSpeak

Fuente: (MathWorks, 2019)

1.8.2 Ubidots

Es una plataforma gratuita de fácil escalabilidad con un tiempo de actividad de 99,9%, posee interfaces y herramientas de desarrollo amigables que facilitan su uso (Ubidots, 2019). Permite la creación de claves API, utiliza protocolos HTTP, MQTT (*Message Queue Telemetry Transport, por sus siglas en inglés*) y TCP para comunicarse directamente con los sensores, además la información puede ser descargada en formatos PDF o CSV (Manotas y Martínez, 2018). La figura 14-1 muestra la interfaz gráfica de Ubidots.

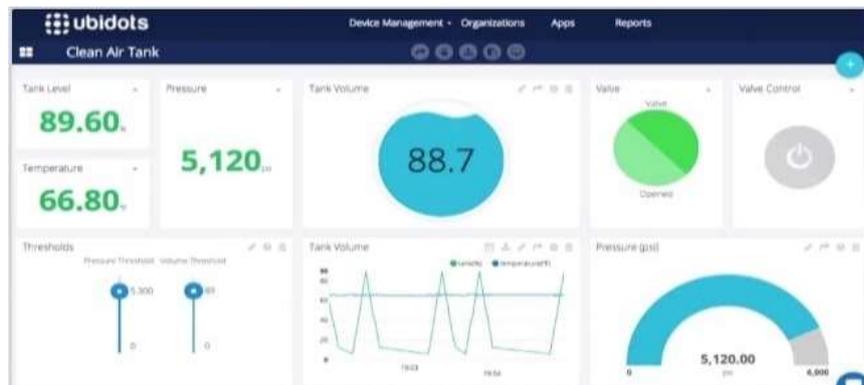


Figura 14-1: Plataforma Ubidots

Fuente: (Manotas y Martínez, 2018)

1.8.3 Temboo

Es compatible con dispositivos IoT que utilizan lenguajes de programación como: Java, Python, C++, IOS, Android, JavaScript. Permite simular el código para la configuración de cualquier sensor con Arduino además de asociarlos a diferentes topologías de red. Se puede enviar los datos mediante el protocolo HTTP hacia la nube de servicios y almacenarlos facilitando la visualización de gráficos históricos. La figura 15-1 muestra la distribución del proceso de Temboo (Manotas y Martínez, 2018).

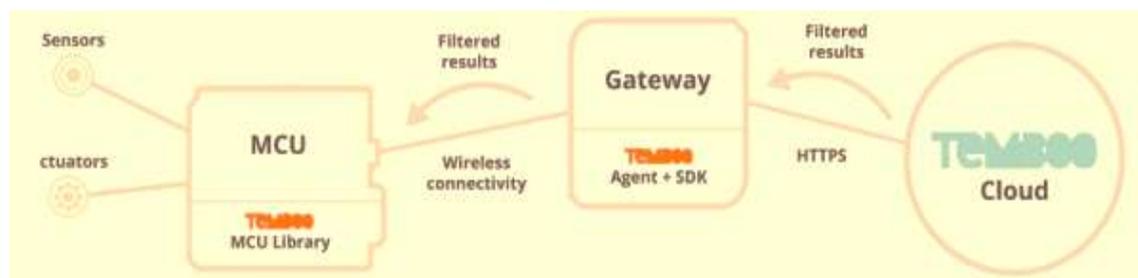


Figura 15-1: Estructura de Temboo

Fuente: (Manotas y Martínez, 2018)

1.8.4 ThingsBoard

Trabaja con licencia Apache, permite la gestión y ampliación de proyectos en un servidor propio (ThingsBoard, 2019). Para la comunicación entre dispositivos utiliza los protocolos HTTP, CoAP (*Constrained Application Protocol, por sus siglas en inglés*) y MQTT, las bases de datos que utiliza es SQL (*por sus siglas en inglés Structured Query Language*) y NoSQL (IoT Consulting, 2019). La figura 16-1 indica la arquitectura de esta plataforma y las tecnologías de comunicación compatibles.

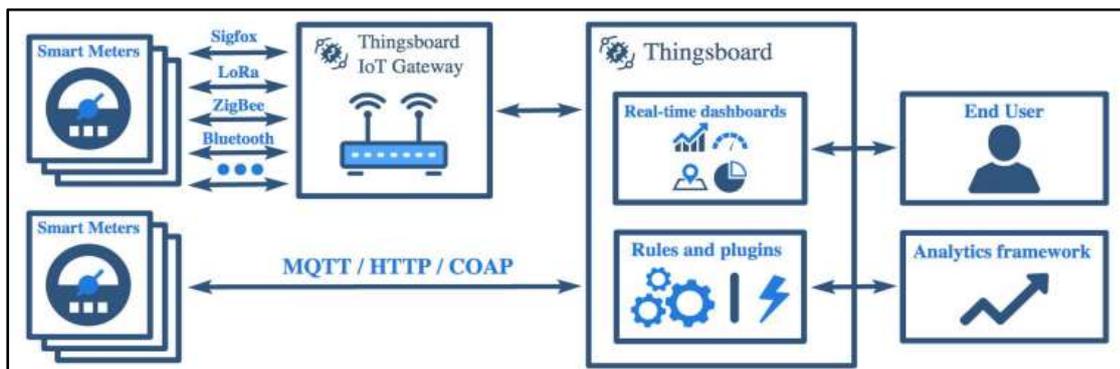


Figura 16-1: Arquitectura de ThingsBoard

Fuente: (ThingsBoard, 2019)

1.8.5 Cuadro comparativo de plataformas IoT

En la tabla 8-1 se realiza una comparativa entre las plataformas revisadas previamente, se detalla características de cada una como: compatibilidad con los distintos protocolos y lenguajes de programación, capacidad de integración con equipos de *hardware* y aplicaciones para la implementación del sistema de monitoreo.

Tabla 8-1: Diferencias entre plataformas IoT

| Parámetros | Thingspeak | Ubidots | Temboo | ThingsBoard |
|---------------------------|--|--------------------------------|---|--|
| Protocolos | HTTP | HTTP, MQTT, TCP, UDP o Parse | HTTP | HTTP, CoAP Y MQTT |
| Lenguajes de programación | HTML, CSS y JavaScript | HTML, JavaScript | Java, C++, Python, IOS, Android, Javascript | C, C ++, Python, Javascript, Go, etc. |
| Integración de hardware | Arduino, Spark, Raspberry Pi, Electronic Imp | Arduino, Raspberry Pi, NodeMCU | Arduino | Arduino, NodeMCU, , Raspberry Pi, LinkIt ONE |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar, 2019.

Del análisis de la tabla 8-1 se optó por trabajar con ThingsBoard puesto que se integra con *hardware* de Raspberry Pi y es compatible con el lenguaje Python.

1.9. Plataformas como servicio

También llamadas PaaS (*Platform as a Service por sus siglas en inglés*) donde el proveedor alquila a los usuarios recursos de *hardware* y *software* alojados en su propia infraestructura para desarrollar y desplegar aplicaciones a través de internet (Rouse, 2019). Los principales proveedores se describen a continuación.

1.9.1 Microsoft azure

Es un conjunto de servicios que otorga la libertad de crear, administrar e implementar aplicaciones en una red mundial con herramientas y marcos favoritos. Es distribuido globalmente debido a que se ejecuta en una red de centros de datos en 24 regiones del mundo, su disponibilidad es del 99,99 % lo que permite un constante monitoreo y solo se paga por los recursos que se utiliza (Microsoft, 2019).

1.9.2 Amazon web services (AWS)

Es un conjunto de herramientas y servicios de Cloud Computing de Amazon (Tic portal, 2019).

1.9.3 Cuadro comparativo de las plataformas de servicio en la nube.

La tabla 9-1 muestra las características relevantes de las plataformas de servicio en la nube, se analiza compatibilidad con sistemas operativos, disponibilidad, cobertura.

Tabla 9-1: Comparación entre plataformas de servicio en la nube

| Características | Azure Microsoft | AWS Amazon |
|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Cobertura | 54 regiones 140 zonas disponibles | 22 regiones 69 zonas disponibles |
| Costo de 1 vCPU 1 GiB RAM | USD 0,0071/hora | USD 0,011/hora |
| Acuerdo de nivel de servicio (SLA) | 99.99% | 99.9% |
| Sistemas operativos compatibles | Windows, Linux | Windows, Linux |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

De acuerdo con las características comparadas entre las dos plataformas en la tabla 9-1, se opta por Microsoft Azure debido a su mayor cobertura a nivel mundial y bajo precio por uso de los recursos de alquiler.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se define la metodología para el diseño y construcción de nodos integrables a una red de telemedición de parámetros eléctricos para el sector industrial denominado Telenergy. Se describe los requerimientos, arquitectura del prototipo, estándares de comunicación, el *hardware* y *software* necesario para la implementación del proyecto, los esquemas de conexión, algoritmos y estructura de la plataforma de monitoreo.

2.1. Requerimientos de *hardware* y *software* del prototipo Telenergy

Una vez establecidos en el capítulo I los conceptos generales respecto al tema propuesto se define los siguientes requerimientos de *hardware* y *software* para el diseño de cada uno de los nodos y del servidor de monitoreo:

- Instalar medidores electrónicos inteligentes que trabajen con los estándares ANSI C12.18 y C12.19.
- Desarrollar un programa capaz de comunicarse con los medidores mediante el protocolo C12.18 y que convierta información obtenida a valores en texto plano.
- Obtener los parámetros eléctricos que se muestran en las tablas 1-1 y 2-1 del capítulo I.
- Implementar nodos con componentes asequibles tanto en precio como disponibilidad sin descuidar la calidad de estos.
- Proporcionar un diseño de red escalable capaz de soportar una gran cantidad de nodos sin comprometer la estabilidad de los datos.
- Todos los nodos deben realizar lecturas de acuerdo con la regulación 005/18 de la ARCONEL y enviarlas a un servidor de monitoreo adaptándose a tecnologías de acceso a internet disponibles.
- Guardar localmente la información obtenida para garantizar la disponibilidad de la información.
- El servidor debe almacenar datos históricos de cada uno de los nodos y permitir la visualización en una interfaz web interactiva para tomar decisiones de mejoramiento y planificación de la red eléctrica.
- Filtrar datos con respecto a los diferentes grupos de usuarios y generar alarmas cuando existan valores anormales de las variables utilizadas para análisis de calidad de energía .

2.2. Diseño del prototipo Telenergy.

Considerando los requerimientos del prototipo se detalla el esquema general de los nodos y sus componentes para lectura, extracción, procesamiento, envío y visualización de información.

2.2.1 Arquitectura general del prototipo.

La figura 1-2 muestra la concepción general del prototipo, consta de dos nodos: el Nodo de Adquisición y Procesamiento de datos (NAP) y el Nodo de Almacenamiento y Visualización de información (NAV).

El NAP es alimentado desde la red eléctrica en donde un medidor se encarga de leer y almacenar parámetros eléctricos en tiempo real, luego estos datos son extraídos mediante una tarjeta de desarrollo que los procesa y envía por medio de módulos de comunicación que permitan el acceso a través de internet hacia el servidor. El NAV recibe los datos, para mostrarlos de manera ordenada en una interfaz web.

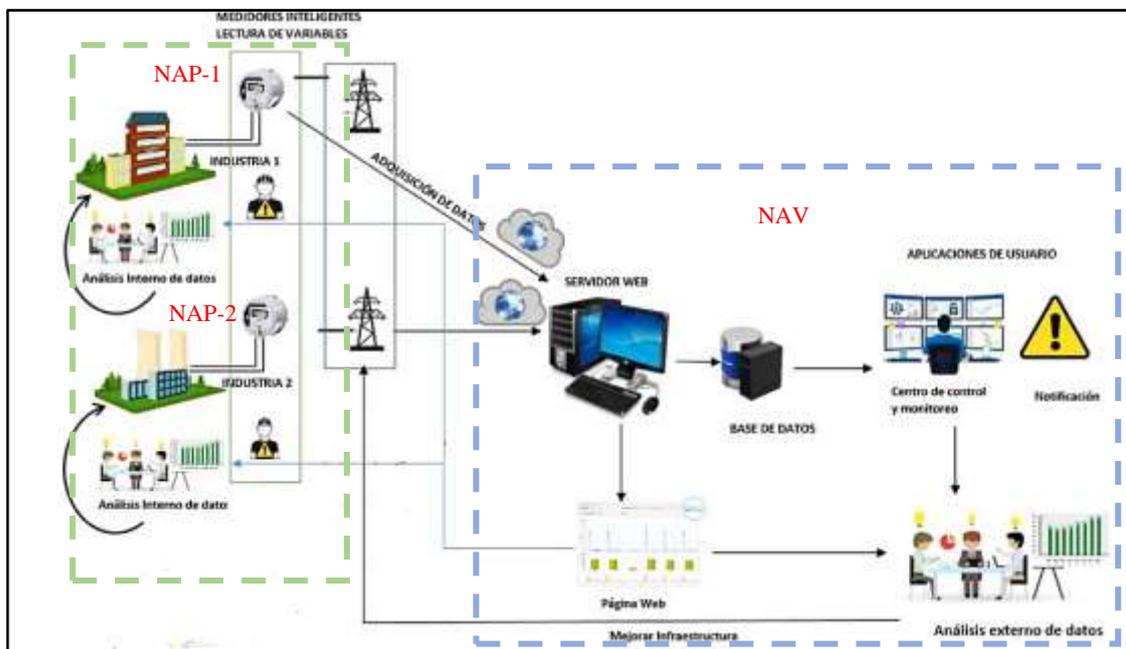


Figura 1-2: Concepción del prototipo

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.3. Bloques del prototipo Telenergy.

A continuación, a través de diagramas de bloques se especifica el funcionamiento del NAP y NAV.

2.3.1 Nodo de Adquisición y Procesamiento de datos.

El diagrama se muestra en la figura 2-2, está compuesto por 4 bloques, entre ellos:

Lectura. Es un medidor de energía eléctrica que registra y almacena localmente varios parámetros eléctricos de acuerdo con el estándar C12.19, es decir que la información que brinda el medidor se encuentra en formato hexadecimal y estructurado de acuerdo con el estándar antes mencionado.

Extracción y procesamiento de datos. Está compuesto por una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi3 la cual aloja un conjunto de programas desarrollados producto de un estudio minucioso del estándar ANSI C12.19 donde se logró identificar e interpretar los segmentos de trama de las variables definidas en las tablas 1-1 y 2-1 del Capítulo I. Estas variables son solicitadas mediante la sonda óptica USB por otro código basado en el estándar ANSI C12.18 el cual se ejecuta de acuerdo con la regulación 005/18 de la ARCONEL.

El medidor recibe las tramas de petición y devuelve los datos de cada variable para que los programas desarrollados las conviertan a texto plano.

Transmisión. Envía la información al servidor dependiendo de la tecnología de comunicación de acceso a internet disponible en el lugar de instalación del nodo.

Alimentación. Encargado de entregar la suficiente energía para que la Raspberry Pi y otros módulos trabajen con total normalidad.

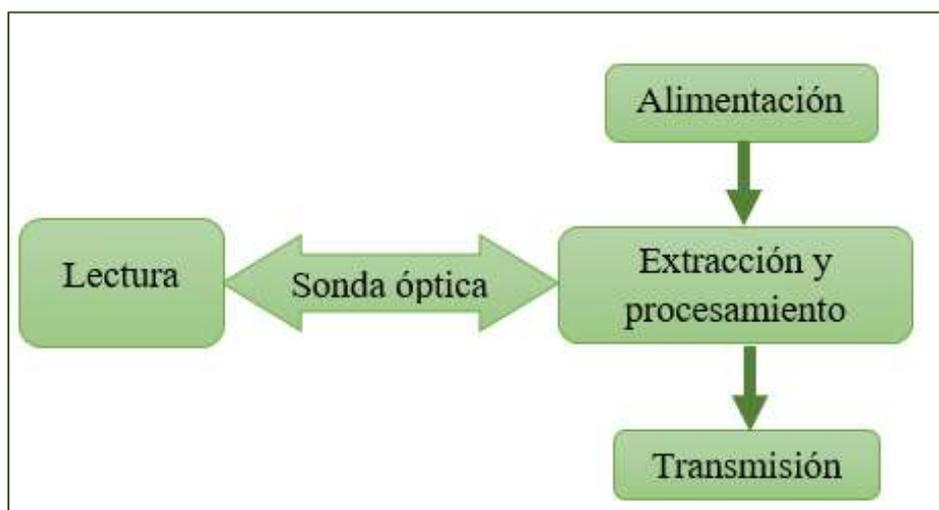


Figura 2-2: Diagrama de bloques del NAP

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.3.2 Nodo de Almacenamiento y Visualización de datos.

Recepción y almacenamiento. Recibe los datos desde el bloque de transmisión del NAP y los almacena en un servidor en la nube.

Visualización. Muestra información de los parámetros eléctricos en la plataforma de IoT instalada en el mismo servidor.

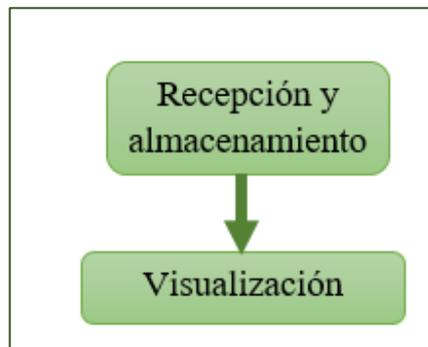


Figura 3-2: Diagrama de bloques del NAV

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.4. Estándares de comunicación

En este apartado se detalla los estándares utilizados para almacenar y extraer la información a través de una conexión física entre el medidor inteligente y la tarjeta de desarrollo.

2.4.1 Tablas utilizadas del estándar C12.19

Los datos requeridos para el diseño del prototipo se detallan en la Tabla 1-2 (Montesdeoca, 2012, p.18).

Tabla 1-2: Tabla de datos solicitados

| Década 0 (Configuración general) | | |
|---|------------------------------|---|
| Tabla 00 | Configuración general | Contiene información de configuración general del dispositivo final, establece que tablas, procedimientos y formatos que se están utilizando. |
| Tabla 01 | Información general | Contiene información general del dispositivo como fabricante, serie, modelo, entre otros. Esta información permanecerá sin cambios. |
| Década 2 (Registros) | | |
| Tabla 23 | Registros actuales de datos | Es utilizada con fines de facturación, contiene los valores de consumo de energía histórico, demanda máxima con respecto al último restablecimiento de esta, y factor de potencia. |
| Tabla 28 | Selección de datos presentes | Contiene los valores instantáneos de instrumentación, estos valores se utilizan para detectar fallas en la red eléctrica interna y externa |
| Década 6 (Perfil de Carga) | | |
| Tabla 64 | Datos de perfil de carga | Contiene información del perfil de carga, esta es utilizada para analizar el consumo de energía del cliente, el redimiendo de equipos, planificar expansiones de la red eléctrica entre otros |
| Década 7 (Registro de Eventos) | | |
| Tabla 76 | Datos de eventos | Almacena todos los eventos físicos ocurridos en el medidor de energía, esta información se utiliza para realizar auditorías y obtener detalles de anomalías ocurridas en la red eléctrica. |

Fuente: (NEMA, 2008)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.4.2 Servicios utilizados del estándar C12.18

Este estándar detalla cómo se realiza la comunicación entre un dispositivo y un cliente. El cliente puede ser una tablet, una computadora o en este caso una Raspberry Pi 3. Para extraer la información requerida se utilizan 5 servicios: identificación, inicio de sesión, seguridad, lectura y cierre de sesión, cada servicio se basa en un esquema de solicitudes y respuestas tal como se muestra en la figura 3-2 (NEMA, 2004, p. 1).

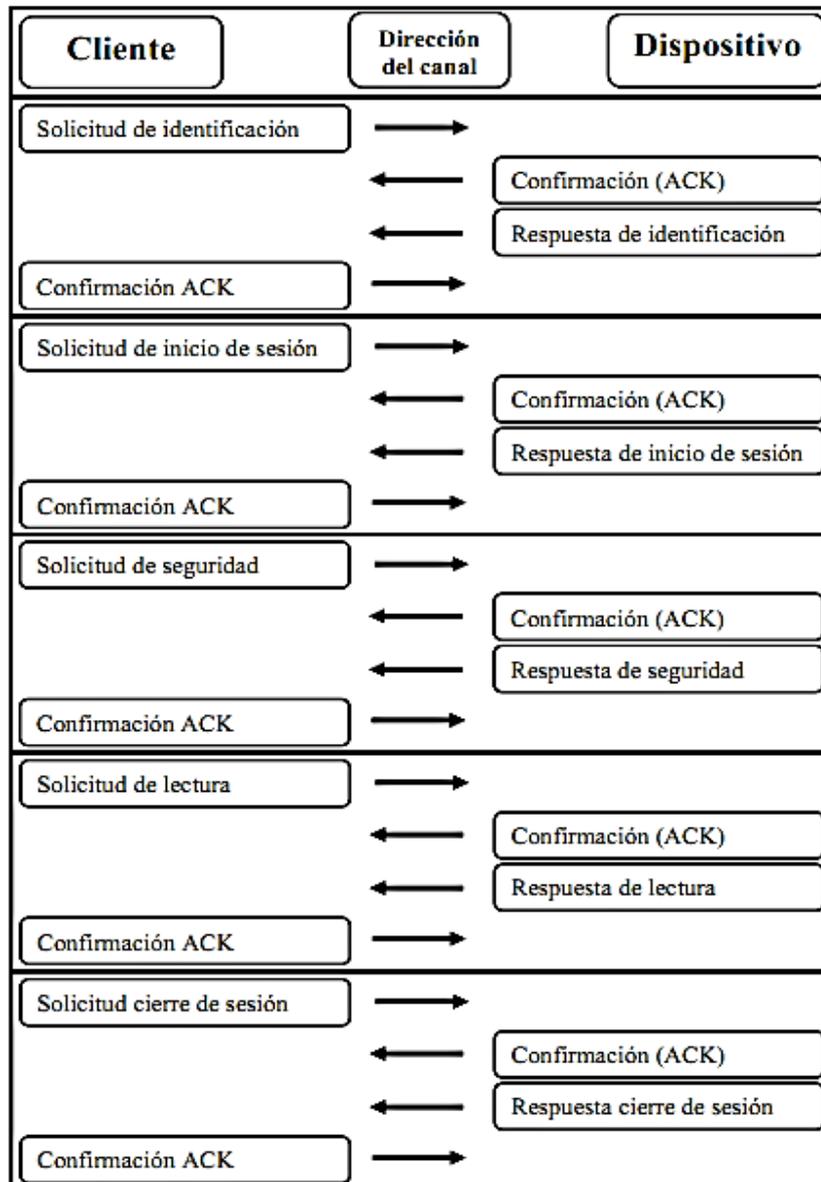


Figura 4-2: Proceso de comunicación ANSI C12.18

Fuente: (NEMA, 2004, p. 33)

En la tabla 2-2 se muestra el intercambio de paquetes realizado al establecer la comunicación entre el medidor de energía y el cliente, existe un orden para las peticiones y respuestas de cada servicio, y siempre existirá un ACK (*ACKNOWLEDGMENT*, por sus siglas en inglés) confirmando que los paquetes se recibieron con éxito independientemente de su origen.

Tabla 2-2: Paquetes enviados y recibidos

| | | |
|----|---|---|
| 1 | → | EE 00 00 00 00 01 20 13 10 |
| 2 | ← | 06 |
| 3 | ← | EE 00 00 00 00 11 00 02 01 00 02 01 00 08 30 36 31 37 34 30 33 30 00 C5 6A |
| 3 | → | 06 |
| 4 | → | EE 00 00 00 00 0D 50 00 02 41 64 6D 69 6E 69 73 74 72 61 F9 04 |
| 5 | ← | 06 |
| 6 | ← | EE 00 20 00 00 01 00 80 51 |
| 7 | → | 06 |
| 8 | → | EE 00 20 00 00 15 51 43 4E 45 4C 20 8B 84 |
| 9 | ← | 06 |
| 10 | ← | EE 00 20 00 00 08 3F 00 01 00 00 10 00 96 2B 50 |
| 11 | → | 06 |
| 12 | → | EE 00 20 00 00 03 30 00 01 D6 6E |
| 13 | ← | 06 |
| 14 | ← | EE 00 C0 02 00 38 00 00 96 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 1A 1B 1C 1D 1E 1F 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 2A 2B 2C 2D 2E 2F 30 31 32 33 34 35 BA 8E |
| 15 | → | 06 |
| 16 | → | EE 00 20 00 00 01 52 17 20 |
| 17 | ← | 06 |
| 18 | ← | EE 00 20 00 00 01 00 11 31 |

Fuente: (NEMA, 2008)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019

En la figura 4-2 se muestra un paquete de respuesta a la petición de servicio de lectura, se observa su respectivo ACK y los 7 elementos descritos en la tabla 4-1 del capítulo anterior: los primeros 6 bytes permiten tener información detallada de cada paquete, los 14 bytes siguientes corresponden a los datos, por último, 2 bytes que forman el CRC.



Figura 5-2: Estructura de paquetes ANSI C12.18

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.5. Selección de *hardware* del sistema Telenergy.

En esta sección se describe cada uno de los elementos de *hardware* que conforman el prototipo de red de telemedición, su funcionamiento, principales características y se adjunta las respectivas especificaciones técnicas.

2.5.1 Medidor Elster Alpha A3.

Se muestra en la figura 5-2, utiliza técnicas de medición patentadas por ELSTER ofreciendo una precisión del 99.5%, soporta estándares de comunicación ANSI C12.18 y C12.21, almacena información en base a la arquitectura del estándar ANSI C12.19, tiene 128 KB de memoria para guardar el perfil de carga, registro de lecturas y eventos por un periodo de 3 meses (ELSTER, 2018). Las especificaciones técnicas se detallan en el Anexo A.



Figura 6-2: Medidor inteligente trifásico Elster Alpha A3

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.5.2 Sonda Óptica KMK 136

Está diseñada para trabajar con el estándar ANSI C12.18 Tipo 2 y puede ser utilizado con la mayoría de los medidores inteligentes. Como se muestra en la figura 7-2 posee un conector USB tipo A que es compatible con computadoras portátiles y otros dispositivos. Tiene una cubierta de aluminio a prueba de agua para trabajar bajo situaciones hostiles, sus características técnicas se muestran en la tabla 3-2 (RedZ, 2019) y se detallan en el Anexo B.



Figura 7-2: Sonda Óptica USB

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas sonda Óptica KMK

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Estándar | ANSI C12.18 tipo 2 |
| Longitud del cable | 3 metros |
| Velocidad de comunicación | Máximo 19200 baudios |
| Tensión de funcionamiento | 5 voltios |
| Longitud de onda | 900 nm |
| Hardware de conexión | USB tipo A |

Fuente: (RedZ, 2019)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.5.3 Raspberry Pi 3B

Es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito, como se muestra en la figura 7-2 posee componentes electrónicos suficientes para realizar proyectos básicos y avanzados (Pastor, 2018). Las especificaciones técnicas de detallan en la tabla 4-2 y el Anexo C.



Figura 8-2: Raspberry Pi 3B

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas de Raspberry Pi 3B

| | |
|------------------------|--|
| Procesador | CPU Quadcom 1.2 MHz Broadcom BCM2837 64bit |
| Memoria | 1GB LPDDR2 SDRAM |
| Conectividad | 2.4GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Wireless LAN Bluetooth 4.2 4 puertos USB 2.0 |
| Fuente de alimentación | 5V/2.5A DC vía micro USB 5V DC vía GPIO |
| Entradas/Salidas | 40 pines GPIO (1 puerto serial) |
| Soporte Tarjeta SD | Micro SD para el sistema operativo y almacenamiento de datos. |
| Multimedia | H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30) |

Fuente: (Pastor, 2018)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar, 2019

2.5.4 Módulo SIM 800L

Fabricado por RoHS es cuádruple banda compatible con GSM /GPRS, se utiliza para la transmisión de datos a través de internet, posee un regulador de voltaje y un convertidor TTL (*Transistor-Transistor Logic por sus siglas en inglés*) que facilita la alimentación desde una fuente de 5 voltios, como se muestra en la figura 8-2 es de tamaño compacto lo que lo hace ideal para la instalación en el prototipo, la tabla 5-2 se muestra algunas especificaciones técnicas del módulo (SFELECTRONICS, 2017) y se detallan más a fondo en el Anexo D.



Figura 9-2: Módulo GPRS SIM 800L

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar, 2019.

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas de SIM800L

| Característica | Implementación |
|-------------------------|--|
| Voltaje de Operación | 5V |
| Bandas de Frecuencia | GSM 850, EGSSM 900, DCS 1800, PCS 1900 |
| Potencia de Transmisión | 2 Watts a 850 Mhz / 1 Watt a 1800 Mhz |
| Rango de Temperatura | -40 – 85 |
| Velocidad Tx / Rx | GPRS 85,6 kbps / GPRS 85,6 |
| Interfaz SIM | 1.8V, 3 V |
| Puerto Serial | 115200bps; Soporta comando AT |
| Características Físicas | 15,8 x 17,8 x 2,4 mm |

Fuente: (SFELECTRONICS, 2017)

Realizado por: Roque, Liliana, Granda, Edgar, 2019

2.6. Esquemas de conexiones del prototipo Telenergy

A continuación, se detalla la conexión de los componentes electrónicos de cada nodo a instalar. El NAP se compone por un medidor Elster Alpha A3, una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B, una sonda óptica KMK, un cargador de 5 voltios y un módulo de comunicación como se observa en la figura 9-2.

- El medidor Elster Alpha A3 se conecta mediante la sonda óptica KMK a un puerto USB de la Raspberry Pi 3B.
- El módulo de comunicación puede ser: **Wi-Fi** el cual está integrado en la tarjeta de desarrollo como se observa en la figura 9-2(a) o **GPRS** el cual se conecta mediante sus pines Tx y Rx a los pines 10 (Rx) y 8 (Tx) de la Raspberry Pi 3B y necesita una fuente de alimentación adicional tal como se muestra en la figura 9-2 (b).
- El cargador posee un cable micro USB que se conecta a la Raspberry Pi 3B para el suministro de energía.

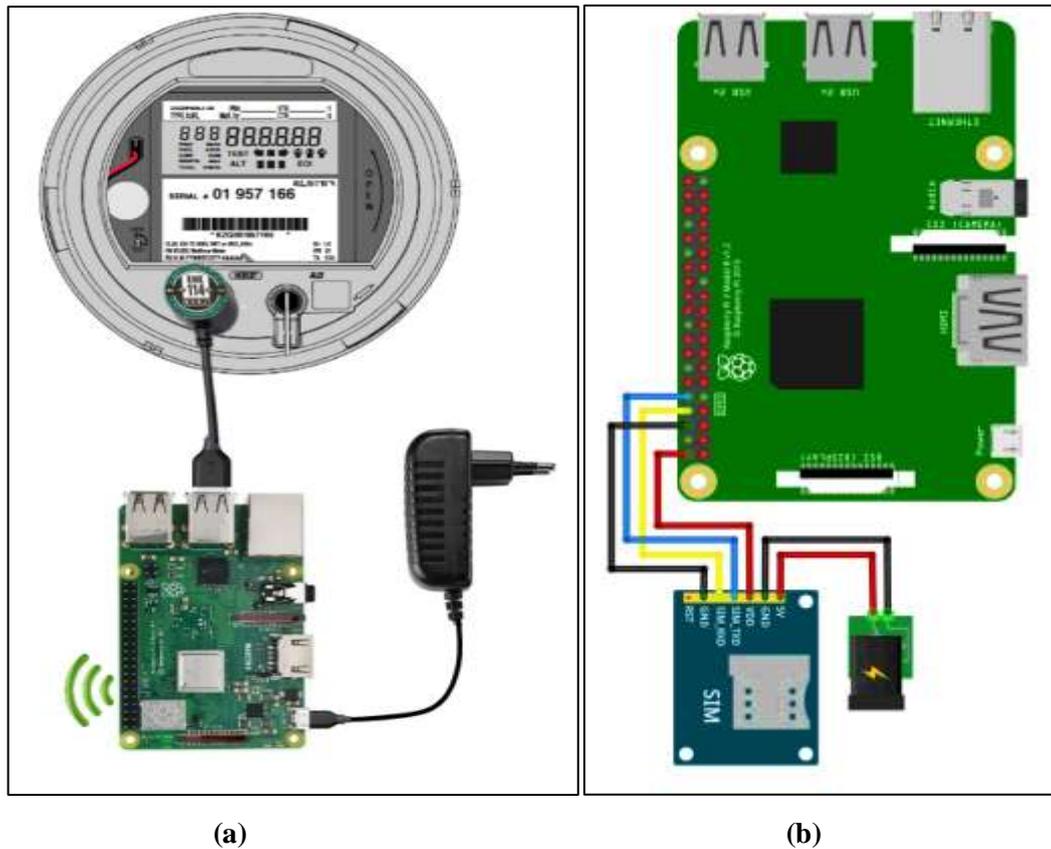


Figura 10-2: Esquema de conexiones del prototipo Telenergy (a) Wi-Fi (b) GPRS

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.7. Selección del *software* para el prototipo Telenergy

Para permitir la comunicación entre los componentes *hardware* mencionados, el prototipo requiere de diferentes elementos *software* especificados a continuación.

2.7.1 Python.

Es un lenguaje de programación diseñado para fácil interpretación e implementación de scripts en alto nivel (Christennosn, 2010). Se desarrolla un programa para la versión 3.4 y la codificación se realiza en el IDE Spyder el cual posee funciones de depuración, autocompletado y linting que ayudan a evitar errores al momento de codificar (Parewa Labs, 2018). En el Anexo E se presenta el código realizado para el prototipo.

2.7.2 ThingsBoard.

Es una plataforma orientada al IoT, permite almacenar datos de manera confiable y visualizarlos en más de 30 widgets configurables, utiliza cadenas de reglas para obtener funciones adicionales como, exportación de datos y activación de alarmas. Se utiliza la versión 2.4 profesional con

licencia maker debido al costo, número de dispositivos permitidos y niveles de acceso a diferentes grupos de clientes y usuarios.

2.7.3 Servidor de Microsoft azure

Se alquiló una serie de recursos detallados en la tabla 6-2 para la instalación de la plataforma IoT, ThingsBoard, brindan beneficios como, bajo costo de implementación, mayor seguridad a nivel de *hardware* y *software*, además permite aumentar o reducir los recursos de manera instantánea adaptándose a las necesidades del cliente (Microsoft, 2019).

Tabla 6-2: Recursos alquilados a Microsoft Azure

| DETALLE | VALOR |
|-------------------------|---|
| Procesadores | 1 vCPU |
| Memoria RAM | 2 GB |
| Disco de almacenamiento | 30 GB SSD |
| Tarjeta de red | LAN virtual |
| IP publica | Dinámica |
| DNS | telenergy.southcentralus.cloudapp.azure.com |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.8. Diagramas de flujo del prototipo Telenergy

A continuación, se describe el algoritmo de funcionamiento del prototipo y en la figura 10-2 se muestra el diagrama de flujo al que obedece el programa desarrollado en cada nodo.

- Se define las librerías necesarias para comunicarse por medio del puerto USB y establecer una comunicación bidireccional entre la Raspberry Pi 3B y el medidor inteligente.
- Se define la dirección web de ThingsBoard y el token de acceso único para cada nodo.
- Se envía una solicitud de identificación para iniciar el proceso de comunicación y se espera un ACK para continuar la comunicación, de no existir se envía al servidor de monitoreo un mensaje de error.
- Se envía una solicitud de inicio de sesión y se espera un ACK.
- Se envía la contraseña de acceso dentro la solicitud del servicio de seguridad y se espera un ACK.
- Se envía una solicitud de la tabla requerida de acuerdo con el estándar ANSI C12.19, luego se espera un ACK.
- Se recibe la respuesta con información de la tabla solicitada en formato hexadecimal.
- Se selecciona los bytes que contienen información útil como se muestra en la figura 5-2, se convierte a texto plano y se asigna a una variable.

- Se almacena las variables en un archivo CSV (*Comma-Separated Values, por sus siglas en inglés*) y se envía hasta el servidor de monitoreo
- Se verifica que las variables estén dentro de rangos preestablecidos, si están fuera de lo normal se crea una alarma detallando el origen y tipo de fallo.
- Se muestra toda la información en paneles constituidos por widgets.
- Este programa se repite automáticamente de acuerdo con la regulación 007/18 de la ARCONEL, sin embargo, este tiempo puede ser reducido según los requerimientos del cliente.

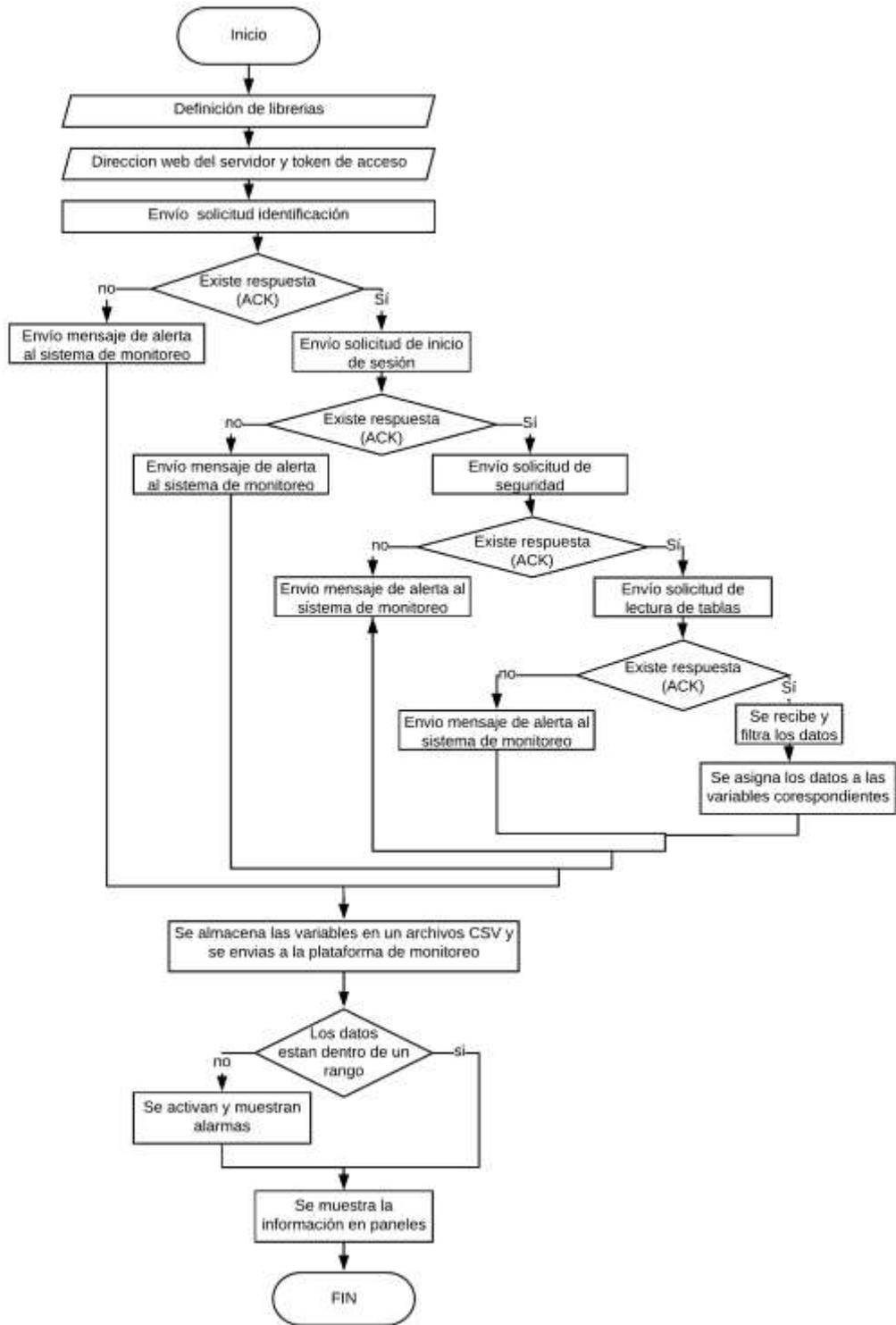


Figura 11-2: Diagrama de flujo para el funcionamiento del prototipo Telenergy

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.9. Plataforma de monitoreo ThingsBoard.

A continuación, se detalla los elementos que constituyen la interfaz de visualización de datos que brindará información pertinente a los grupos de usuarios de la empresa distribuidora y sus clientes de acuerdo con diferentes privilegios de acceso.

2.9.1 Alarmas.

Está compuesto por un filtro denominado cadena de reglas las cuales verifican los umbrales los datos recibidos de cada nodo, configurados en base a las regulaciones 005/18 y 004/18 de la ARCONEL con la finalidad de crear, borrar y mostrar alarmas en un widget ubicado en el panel principal del sistema de monitoreo. En la figura 11-2 se muestra un ejemplo para un nodo. El programa desarrollado en el NAP emite un código de alerta en caso de desconexión del lente óptico, este código también es comprobado por un bloque en la cadena de reglas para emitir la alarma correspondiente.

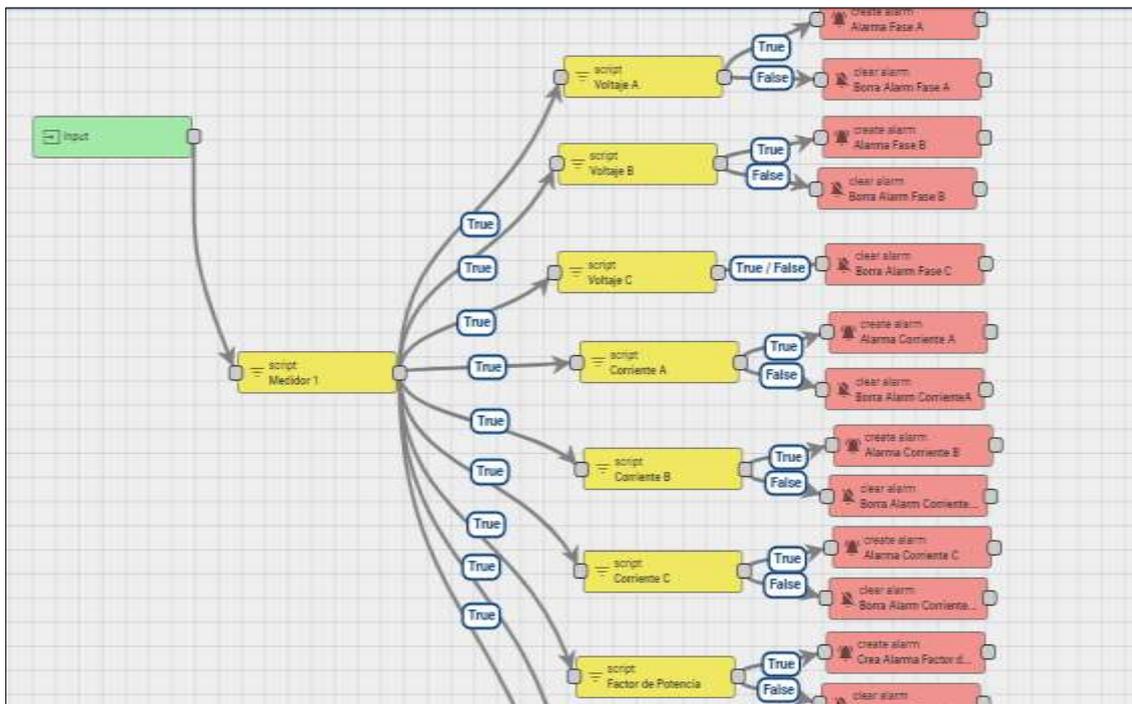


Figura 12-2: Cadena de reglas de alarmas

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.9.2 Paneles

La plataforma de monitoreo consta de 2 paneles: principal y de información técnica-comercial, este último tiene 2 sub-paneles que son: instrumentación, perfil de carga y demanda. En la figura 12-2 se observa el panel principal que consta de 4 widgets que detallan información específica de cada nodo instalado: el primero es un mapa que permite visualizar la ubicación geográfica de todos los nodos, el segundo muestra una lista de todas las fábricas con sus respectivos datos e incluye una flecha de enlace a medidas específicas del nodo seleccionado. El tercero muestra mensajes de alarmas de la variable que está fallando, origen y hora de inicio, parámetros configurados en las cadenas de reglas descritas en el apartado anterior, por último, existe un widget para la actualización de datos previa selección de la entidad a modificar.



Figura 13-2: Panel principal de monitoreo

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019

La figura 13-2 muestra el panel de información técnica-comercial del medidor instalado en una fábrica específica, consta de: la ubicación geográfica, datos generales, datos técnicos y comerciales agregados manualmente, un resumen del consumo de energía actual, un registro de eventos ocurridos y la opción de actualización de datos. El acceso a este panel es a través de un hipervínculo que se encuentra en el widget lista de fábricas del panel principal, tiene dos sub-paneles que muestran el perfil de: instrumentación, carga, demanda y consumo.

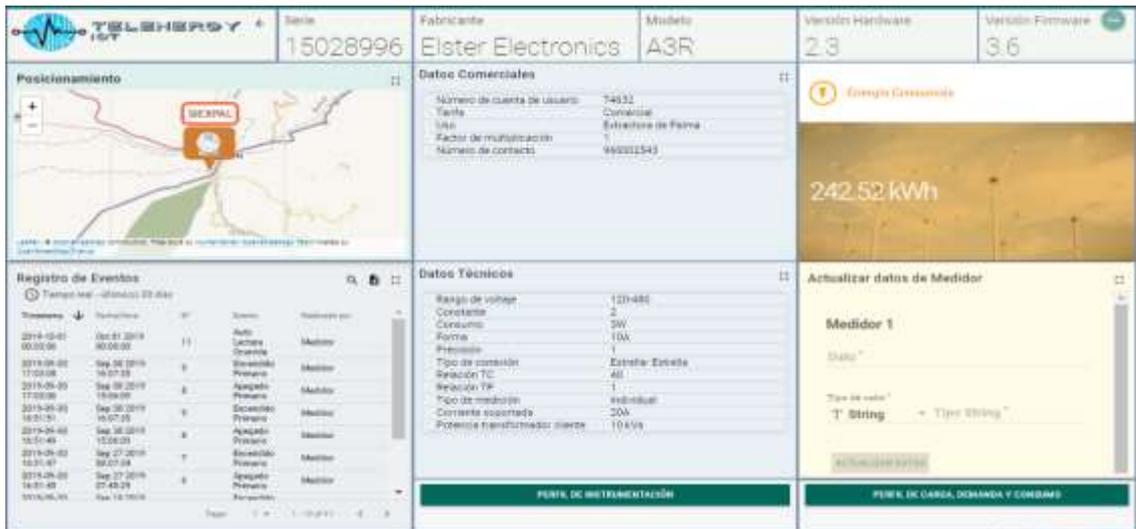


Figura 14-2: Panel de información técnica-comercial

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

El sub-panel de instrumentación se visualiza en la figura 14-2, está compuesto por un conjunto de widgets que muestran valores instantáneos e históricos de los parámetros eléctricos que ayudan en gran parte a detectar fallas en la red eléctrica. Estos valores cambian constantemente en el tiempo. Además, consta de botones para avanzar o retroceder entre paneles.



Figura 15-2: Sub-panel de instrumentación del Banco de Guayaquil.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

El sub-panel de perfil de carga, demanda y consumo mostrado en la figura 15-2 detalla los parámetros necesarios para: determinar el comportamiento del consumo energético del cliente, conocer el uso de energía en función del tiempo mediante un histograma, mostrar los porcentajes

de energía perdida y aprovechada mediante un widget tipo pastel, visualizar la demanda máxima de energía activa y reactiva con sus respectivas fechas y horas.

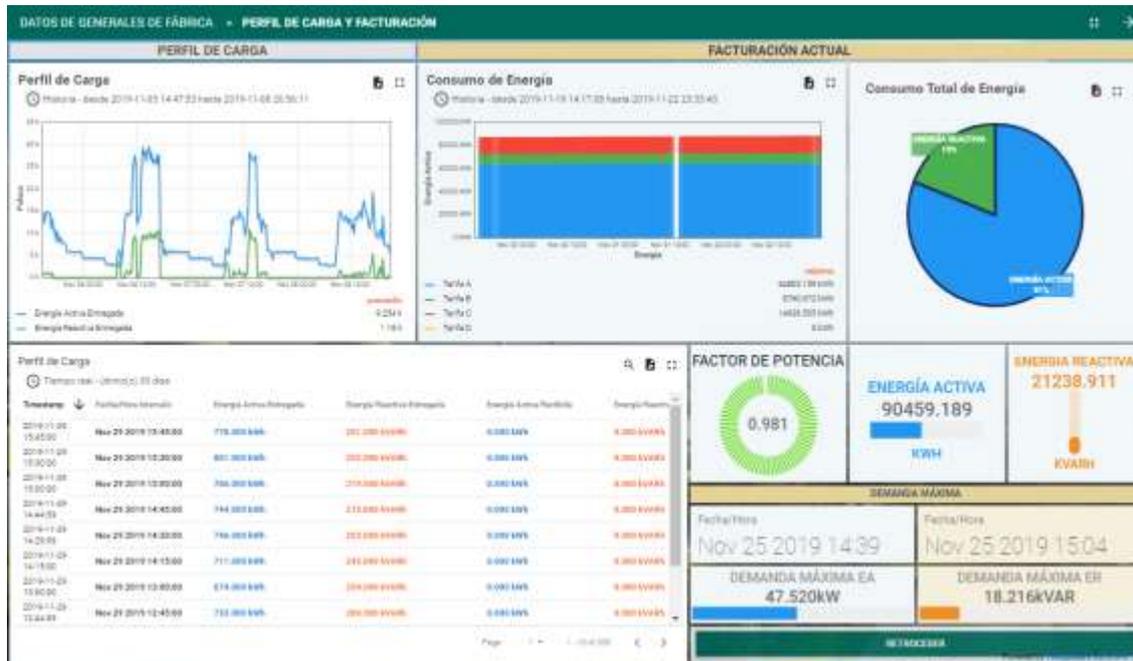


Figura 16-2: Sub-panel de perfil de carga, demanda y consumo del Banco de Guayaquil.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

2.9.3 Usuarios

Para acceder a la plataforma de monitoreo se crearon 3 grupos de usuarios con diferentes privilegios:

Administradores. Son aquellos que tienen acceso total al sistema de monitoreo, administran todas las entidades como: activos, dispositivos, clientes, usuarios, paneles, cadenas de reglas, etc.

Usuarios de la empresa distribuidora. Tienen acceso a la visualización de información de todos los nodos, también pueden agregar y eliminar usuarios finales.

Usuarios finales. También denominados clientes, pueden visualizar información correspondiente a su fábrica en los mismos paneles que los usuarios de la empresa distribuidora, pero con permisos de solo lectura.

3.2. Instalación y caracterización del prototipo.

El objetivo de este conjunto de pruebas es determinar las características de cada nodo y el funcionamiento general del prototipo.

3.2.1 Funcionamiento del prototipo.

Tuvo como objetivo comprobar que los datos presentes en el NAP se transmitan y visualicen en la plataforma de monitoreo, para ello se instala 2 nodos, cada uno envía los datos de telemetría a través de diferentes tecnologías de acceso a internet. El primer nodo tomado como base para el desarrollo del proyecto se instaló en una vivienda ubicada en el cantón Bucay, el cual se comunica con el servidor utilizando una conexión a internet de banda ancha existente en el domicilio. La figura 2-3 muestra el prototipo general funcionando con el nodo Wi-Fi.



Figura 2-3: Prototipo Telenergy funcionando con nodo Wi-Fi

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

La instalación del segundo nodo se realizó en el Banco de Guayaquil ubicado en la ciudad de Santo Domingo y transmite los datos hacia el servidor vía GPRS, las respectivas autorizaciones fueron tramitadas directamente entre el personal de CNEL y el Banco, la figura 3-3 se muestra el proceso de instalación del nodo.



Figura 3-3: Instalación del nodo GPRS.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Después de la instalación de los nodos, se verifico que ambos transmitieron los datos de forma satisfactoria hacia la plataforma de monitoreo.

3.2.2 Tiempo de retardo para la visualización de información.

El propósito de esta prueba es determinar la tecnología de acceso a internet más eficiente en base al tiempo que tarda en llegar los datos desde el NAP hasta la plataforma de monitoreo, los mismos que se envían a los 37 segundos se cada lectura, para ello se tomó una muestra de la variable “Corriente” con 40 datos y se detalla los valores en tabla 1-3.

Tabla 1-3: Tiempos de llegada de información de cada nodo

| N° | Nodo con acceso a internet por banda ancha | | | | Nodo con acceso a internet por GPRS | | | |
|---|--|--------|--------|----------------|-------------------------------------|--------|--------|----------------|
| | Hora de llegada | Fase A | Fase B | Fase C | Hora de llegada | Fase A | Fase B | Fase C |
| 1 | 6:05:39 | 0,0518 | 0,0004 | 0,0004 | 6:25:40 | 0,1055 | 0,0071 | 0,0955 |
| 2 | 6:15:38 | 0,0525 | 0,0004 | 0,0004 | 6:35:39 | 0,0835 | 0,0072 | 0,0984 |
| 3 | 6:25:38 | 0,0522 | 0,0003 | 0,0004 | 6:45:39 | 0,0846 | 0,0138 | 0,102 |
| 4 | 6:35:38 | 0,052 | 0,0004 | 0,0004 | 6:55:40 | 0,0834 | 0,0215 | 0,1021 |
| 5 | 6:45:38 | 0,052 | 0,0004 | 0,0004 | 7:05:39 | 0,0826 | 0,0216 | 0,1074 |
| 6 | 6:55:38 | 0,0514 | 0,0004 | 0,0005 | 7:15:39 | 0,0803 | 0,022 | 0,0978 |
| 7 | 7:05:39 | 0,0508 | 0,0004 | 0,0005 | 7:25:39 | 0,079 | 0,022 | 0,103 |
| 8 | 7:15:38 | 0,0511 | 0,0003 | 0,0004 | 7:35:40 | 0,0794 | 0,0246 | 0,0982 |
| 9 | 7:25:39 | 0,0501 | 0,0004 | 0,0004 | 7:45:39 | 0,0785 | 0,022 | 0,1037 |
| 10 | 7:35:38 | 0,0494 | 0,0004 | 0,0004 | 7:55:40 | 0,0787 | 0,0223 | 0,1053 |
| 11 | 7:45:38 | 0,0489 | 0,0003 | 0,0005 | 8:05:40 | 0,0865 | 0,0217 | 0,0962 |
| 12 | 7:55:38 | 0,0484 | 0,0004 | 0,0004 | 8:15:39 | 0,0864 | 0,0238 | 0,1021 |
| 13 | 8:05:39 | 0,0743 | 0,0004 | 0,0005 | 8:25:40 | 0,0863 | 0,0224 | 0,0971 |
| 14 | 8:15:38 | 0,006 | 0,0004 | 0,0005 | 8:35:40 | 0,0868 | 0,0221 | 0,1028 |
| 15 | 8:25:38 | 0,0549 | 0,0004 | 0,0004 | 8:45:39 | 0,0786 | 0,0636 | 0,0974 |
| 16 | 8:35:38 | 0,0524 | 0,0005 | 0,0005 | 8:55:39 | 0,0787 | 0,0226 | 0,1024 |
| 17 | 8:45:38 | 0,0513 | 0,0004 | 0,0004 | 9:05:39 | 0,0774 | 0,0228 | 0,1041 |
| 18 | 8:55:38 | 0,0508 | 0,0005 | 0,0004 | 9:15:39 | 0,0782 | 0,0073 | 0,0865 |
| 19 | 9:05:39 | 0,0505 | 0,0004 | 0,0004 | 9:25:40 | 0,0791 | 0,0485 | 0,0933 |
| 20 | 9:15:38 | 0,0503 | 0,0004 | 0,0005 | 9:35:39 | 0,0788 | 0,0228 | 0,0976 |
| 21 | 9:25:38 | 0,05 | 0,0004 | 0,0005 | 9:45:40 | 0,0785 | 0,0221 | 0,1024 |
| 22 | 9:35:38 | 0,0498 | 0,0004 | 0,0004 | 9:55:39 | 0,0786 | 0,0225 | 0,1043 |
| 23 | 9:45:38 | 0,0058 | 0,0004 | 0,0005 | 10:05:40 | 0,0783 | 0,0228 | 0,096 |
| 24 | 9:55:38 | 0,0041 | 0,0004 | 0,0005 | 10:15:39 | 0,0793 | 0,0229 | 0,1034 |
| 25 | 10:05:39 | 0,004 | 0,0003 | 0,0004 | 10:25:39 | 0,0787 | 0,023 | 0,0965 |
| 26 | 10:15:38 | 0,0039 | 0,0004 | 0,0004 | 10:35:39 | 0,0782 | 0,0233 | 0,1043 |
| 27 | 10:25:38 | 0,0038 | 0,0004 | 0,0005 | 10:45:40 | 0,0793 | 0,0232 | 0,1062 |
| 28 | 10:35:38 | 0,0509 | 0,0005 | 0,0005 | 10:55:39 | 0,115 | 0,0239 | 0,0973 |
| 29 | 10:45:38 | 0,0496 | 0,0004 | 0,0005 | 11:05:39 | 0,0876 | 0,0238 | 0,1078 |
| 30 | 10:55:38 | 0,0494 | 0,0005 | 0,0005 | 11:15:39 | 0,0873 | 0,0231 | 0,0972 |
| 31 | 11:15:38 | 0,0496 | 0,0004 | 0,0005 | 11:25:40 | 0,0864 | 0,0234 | 0,1044 |
| 32 | 11:25:38 | 0,0495 | 0,0004 | 0,0004 | 11:35:40 | 0,0889 | 0,0255 | 0,1005 |
| 33 | 11:35:38 | 0,0492 | 0,0004 | 0,0004 | 11:45:39 | 0,0796 | 0,0235 | 0,1045 |
| 34 | 11:45:38 | 0,0488 | 0,0004 | 0,0004 | 11:55:40 | 0,0788 | 0,0235 | 0,1064 |
| 35 | 11:55:38 | 0,0492 | 0,0005 | 0,0004 | 12:05:40 | 0,1088 | 0,0248 | 0,0995 |
| 36 | 12:05:39 | 0,0045 | 0,0004 | 0,0004 | 12:15:39 | 0,0792 | 0,025 | 0,1043 |
| 37 | 12:15:40 | 0,0043 | 0,0004 | 0,0004 | 12:25:39 | 0,0785 | 0,025 | 0,0985 |
| 38 | 12:25:38 | 0,0043 | 0,0004 | 0,0004 | 12:35:40 | 0,0783 | 0,0254 | 0,106 |
| 39 | 12:35:38 | 0,0043 | 0,0005 | 0,0004 | 12:45:39 | 0,0784 | 0,0252 | 0,1077 |
| 40 | 12:45:38 | 0,2071 | 0,0005 | 0,0005 | 12:55:39 | 0,0786 | 0,0253 | 0,0988 |
| | Retardo promedio (segundos) | | | 1,03521 | Retardo promedio (segundos) | | | 2,46809 |
| Diferencia de tiempo entre las dos tecnologías | | | | | 1,43289 segundos | | | |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Analizada la tabla 1-3 se comprobó que la tecnología de acceso a internet por banda ancha tiene menor retardo al enviar los datos que GPRS, sin embargo, en la mayoría de los casos los medidores de energía eléctrica se encuentran fuera del área de cobertura Wi-Fi de la industria y tomando en cuenta que no es relevante recibir los datos en tiempo real resulta indistinto el uso de cualquiera de estas.

3.2.3 Estabilidad del prototipo

Su objetivo fue calcular el porcentaje de disponibilidad de información que tiene cada nodo, con la fórmula 1-3 se determinó el número de lecturas proyectadas durante el tiempo de prueba definido en la regulación 005/18 de la ARCONEL, esta especifica que para a evaluar los índices de calidad de energía, la periodicidad de lecturas de los parámetros eléctricos debe ser al menos 7 días en intervalos de 10 minutos (Arcotel, 2018b), en la tabla 2-3 se visualiza los resultados obtenidos.

$$nl = l * h * d \rightarrow nl = 1008 \quad \text{Formula 1-3}$$

Donde:

nl = número total de lecturas proyectadas

l = número de lecturas realizadas cada hora

h = número de horas por día

d = número de días que se realiza las lecturas

Tabla 2-3: Resumen de datos obtenidos

| Lecturas proyectadas | Nodo GPRS | | Nodo Wi-Fi | |
|----------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| | Lecturas Realizadas | Disponibilidad de información (%) | Lecturas Realizadas | Disponibilidad de información (%) |
| 1008 | 971 | 97,1 % | 843 | 84,7% |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

De acuerdo con la tabla 2-3, la mayor pérdida de datos se presentó en el nodo Wi-Fi, esto debido a que se encuentra instalado en un lugar propenso a cortes de energía y del servicio de internet, sin embargo, las pérdidas de datos en periodos cortos de tiempo no inciden en la interpretación del comportamiento de las variables eléctricas en el tiempo y no determina el correcto funcionamiento del prototipo debido a que estos problemas son factores externos al sistema.

3.2.4 Comparación de resultados

Tiene como objetivo calcular el error entre los datos obtenidos por el prototipo y el *software* de pago de referencia Metercat, el cual es de pago y es utilizado actualmente por los técnicos de CNEL. En el primer nodo se realizaron lecturas consecutivas con Metercat y el prototipo, las lecturas del segundo nodo se tomaron con una hora de diferencia, por último, se calculó el porcentaje de variación que tiene cada uno.

Variables de facturación. En las tablas 3-3 y 4-3 se comparó las variables de facturación del nodo GPRS y Wi-Fi respectivamente, cada una con su respectivo porcentaje de error.

Tabla 3-3: Variables de facturación nodo GPRS

| Variable | Software de referencia (Metercat) (7/11/2019 10:07:50) | Prototipo implementado (Telenergy) (7/11/2019 10:07:07) | Error (%) |
|--------------------------------------|---|--|-----------|
| Tarifa A | 61938,468 kWh-Del | 61937,685 kWh-Del | 0.001 |
| Tarifa B | 8334,261 kWh-Del | 8334,261 kWh-Del | 0 |
| Tarifa C | 14248,737 kWh-Del | 14248,737 kWh-Del | 0 |
| Tarifa D | 0 kWh-Del | 0 kWh-Del | 0 |
| Energía activa total | 84521,466 kWh-Del | 84520,68 kWh-Del | 0 |
| Energía reactiva total | 19930,797 KVARh-Del | 19930,671 KVARh-Del | 0 |
| Factor de potencia total | 0,997 | 0,997 | 0 |
| Demanda máxima energía activa | 33,732 | 33,732 | 0 |
| Demanda máxima energía reactiva | 12,168 | 12,168 | 0 |
| Hora y fecha energía activa máxima | 6/11/2019 14:44 | 6/11/2019 14:44 | 0 |
| Hora y fecha energía reactiva máxima | 6/11/2019 11:09 | 6/11/2019 11:09 | 0 |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 4-3: Variables de facturación nodo Wi-Fi

| Variable | Software de referencia (Metercat) (23/11/2019 8:34:50) | Prototipo implementado (Telenergy) (23/11/2019 9:30) | Error (%) |
|--------------------------------------|---|---|-----------|
| Tarifa A | 127,392 kWh-Del | 127,392 kWh-Del | 0 |
| Tarifa B | 91,284 kWh-Del | 91,284 kWh-Del | 0 |
| Tarifa C | 177,93 kWh-Del | 177,114 kWh-Del | 0,46 |
| Tarifa D | 33,330 kWh-Del | 33,33 kWh-Del | 0 |
| Energía activa total | 429,099 kWh-Del | 429,120 kWh-Del | 0 |
| Energía reactiva total | 214,239 KVARh-Del | 214,239 KVARh-Del | 0 |
| Factor de potencia total | 0,890 | 0,890 | 0 |
| Demanda máxima energía activa | 2,292 kW | 2,292 kW | 0 |
| Demanda máxima energía reactiva | 0,264 kVAR | 0,264 kVAR | 0 |
| Hora y fecha energía activa máxima | 5/11/2019 17:54 | 5/11/2019 17:54 | 0 |
| Hora y fecha energía reactiva máxima | 17/11/2019 12:29 | 17/11/2019 12:29 | 0 |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

De acuerdo con la información de las tablas 3-3 y 4-3 se determinó que existe una mínima variación de error en una variable, por lo que esta información se puede utilizar para procesos reales de facturación.

Instrumentación. Las variables de instrumentación son valores que cambian constantemente con el tiempo, por lo tanto, al realizar 2 lecturas simultaneas, estas siempre serán diferentes. Las tablas 5-3 y 6-3 muestran la comparativa de valores de cada nodo.

Tabla 5-3: Variables de instrumentación nodo GPRS

| Variable | Fase | Software de referencia (Metercat) (7/11/2019 10:07) | | | Prototipo implementado (Telenergy) (7/11/2019 10:05) | | |
|---|------|---|---------|---------|--|---------|---------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| Voltaje (V) | | 128,894 | 129,782 | 130,344 | 128,900 | 130,012 | 130,555 |
| Corriente (A) | | 0,481 | 0,268 | 0,443 | 0,412 | 0,190 | 0,535 |
| Potencia activa (kW) | | 0,057 | 0,032 | 0,0561 | 0,048 | 0,023 | 0,066 |
| Potencia reactiva (kVAR) | | 0,023 | 0,013 | -0,0136 | 0,016 | 0,023 | -0,020 |
| Potencia aparente (kVA) | | 0,062 | 0,034 | 0,058 | 0,051 | 0,023 | 0,069 |
| Angulo de voltajes (grados decimales) | | 0 | 120 | 240 | 0 | 120 | 240 |
| Angulo de corrientes (grados decimales) | | 22,387 | 142,191 | 226,363 | 17,973 | 97,254 | 226,149 |
| Potencia activa del sistema (kW) | | 0,146 | | | 0,0484 | | |
| Potencia reactiva del sistema (kVAR) | | 0,0232 | | | 0,0156 | | |
| Potencia aparente del sistema (kVA) | | 0,01476 | | | 0,0508 | | |
| Factor de potencia | | 0,988 | | | 0,949 | | |
| Frecuencia de línea (Hz) | | 60,001 | | | 59,999 | | |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 6-3: Variables de instrumentación nodo Wi-Fi

| Variable | Fase | Software de referencia (Metercat) (23/11/2019 8:34) | | | Prototipo implementado (Telenergy) (23/11/2019 9:30) | | |
|---|------|---|---------|--------|--|---------|--------|
| | | A | B | C | A | B | C |
| Voltaje (V) | | 123,877 | 126,292 | 0,509 | 123,995 | 126,533 | 0,508 |
| Corriente (A) | | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,0147 | 0,0004 | 0,0004 |
| Potencia activa (kW) | | 0,0007 | 0,0001 | 0,000 | 0,00091 | 0 | 0 |
| Potencia reactiva (kVAR) | | -0,001 | 0,000 | -0,000 | -0,0009 | 0 | 0 |
| Potencia aparente (kVA) | | 0,0012 | 0,0001 | 0,000 | 0,0017 | 0 | 0 |
| Angulo de voltajes (grados decimales) | | 0 | 180 | 120 | 0 | 180 | 120 |
| Angulo de corrientes (grados decimales) | | 302,555 | 180 | 120 | 302,117 | 180 | 120 |
| Potencia activa del sistema (kW) | | 0,0007 | | | 0,00091 | | |
| Potencia reactiva del sistema (kVAR) | | -0,0010 | | | -0,00095 | | |
| Potencia aparente del sistema (kVA) | | 0,0013 | | | 0,0017 | | |
| Factor de potencia | | -0,566 | | | 0,529 | | |
| Frecuencia de línea (Hz) | | 60,006 | | | 60,007 | | |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Al analizar la información de las tablas 5-3 y 6-3 se determinó que los valores mostrados en la plataforma de monitoreo tienen similitud con los del *software* de referencia, por lo que se determinó que la información es válida y puede utilizarse para análisis de calidad de energía.

Perfil de carga. Los valores del perfil de carga son generados cada 15 minutos por el medidor de energía, por lo que se realizó una lectura 7 segundos antes que se cumpla este intervalo de tiempo, las tablas 7-3 y 8-3 muestran los valores comparados para el nodo GPRS y Wi-Fi respectivamente con una muestra de 136 datos cada uno.

Tabla 7-3: Variables de perfil de carga nodo GPRS

| N° | Software de referencia (Metercat) | | | | | Prototipo implementado (Telenergy) | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|---------|-----------|---------|----------|------------------------------------|---------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Hora lectura | kWh-Del | kVARh-Del | kWh-Rec | kVAh-Rec | Hora lectura | kWh Del | kVARh Del | kWh Rec | kVAh Rec | % error |
| 1 | 0:15 | 138 | 0 | 0 | 0 | 00:15:00 | 122 | 0 | 0 | 0 | 11,594 |
| 2 | 0:30 | 132 | 0 | 0 | 0 | 00:29:59 | 117 | 0 | 0 | 0 | 11,364 |
| 3 | 0:45 | 140 | 0 | 0 | 0 | 00:44:59 | 123 | 0 | 0 | 0 | 12,143 |
| 4 | 1:00 | 132 | 0 | 0 | 0 | 01:00:00 | 116 | 0 | 0 | 0 | 12,121 |
| 5 | 1:15 | 135 | 0 | 0 | 0 | 01:14:59 | 119 | 0 | 0 | 0 | 11,852 |
| 6 | 1:30 | 138 | 0 | 0 | 0 | 01:29:59 | 122 | 0 | 0 | 0 | 11,594 |
| 7 | 1:45 | 133 | 0 | 0 | 0 | 01:45:00 | 117 | 0 | 0 | 0 | 12,030 |
| 8 | 2:00 | 142 | 0 | 0 | 0 | 02:00:00 | 127 | 0 | 0 | 0 | 10,563 |
| 9 | 2:15 | 138 | 0 | 0 | 0 | 02:15:00 | 122 | 0 | 0 | 0 | 11,594 |
| 10 | 2:30 | 136 | 0 | 0 | 0 | 02:30:00 | 120 | 0 | 0 | 0 | 11,765 |
| 11 | 2:45 | 137 | 0 | 0 | 0 | 02:44:59 | 122 | 0 | 0 | 0 | 10,949 |
| 12 | 3:00 | 134 | 0 | 0 | 0 | 03:00:00 | 119 | 0 | 0 | 0 | 11,194 |
| 13 | 3:15 | 133 | 0 | 0 | 0 | 03:15:00 | 118 | 0 | 0 | 0 | 11,278 |
| 14 | 3:30 | 138 | 0 | 0 | 0 | 03:30:00 | 121 | 0 | 0 | 0 | 12,319 |
| 15 | 3:45 | 133 | 0 | 0 | 0 | 03:45:00 | 116 | 0 | 0 | 0 | 12,782 |
| 16 | 4:00 | 135 | 0 | 0 | 0 | 03:59:59 | 117 | 0 | 0 | 0 | 13,333 |
| 17 | 4:15 | 136 | 0 | 0 | 0 | 04:15:00 | 121 | 0 | 0 | 0 | 11,029 |
| 18 | 4:30 | 133 | 0 | 0 | 0 | 04:30:00 | 118 | 0 | 0 | 0 | 11,278 |
| 19 | 4:45 | 137 | 0 | 0 | 0 | 04:44:59 | 122 | 0 | 0 | 0 | 10,949 |
| 20 | 5:00 | 96 | 0 | 0 | 0 | 04:59:59 | 86 | 0 | 0 | 0 | 10,417 |
| 21 | 5:15 | 92 | 0 | 0 | 0 | 05:15:00 | 80 | 0 | 0 | 0 | 13,043 |
| 22 | 5:30 | 89 | 0 | 0 | 0 | 05:29:59 | 80 | 0 | 0 | 0 | 10,112 |
| 23 | 5:45 | 80 | 0 | 0 | 0 | 05:45:00 | 71 | 0 | 0 | 0 | 11,250 |
| 24 | 6:00 | 92 | 0 | 0 | 0 | 06:00:00 | 79 | 0 | 0 | 0 | 14,130 |
| 25 | 6:15 | 96 | 0 | 1 | 0 | 06:14:59 | 85 | 0 | 1 | 0 | 11,458 |
| 26 | 6:30 | 93 | 0 | 0 | 0 | 07:29:59 | 82 | 0 | 0 | 0 | 11,828 |
| 27 | 6:45 | 85 | 0 | 0 | 0 | 06:45:00 | 75 | 0 | 0 | 0 | 11,765 |
| 28 | 7:00 | 82 | 0 | 0 | 0 | 06:59:59 | 72 | 0 | 0 | 0 | 12,195 |
| 29 | 7:15 | 82 | 0 | 0 | 0 | 07:14:59 | 72 | 0 | 0 | 0 | 12,195 |
| 30 | 7:30 | 84 | 0 | 0 | 0 | 07:30:00 | 74 | 0 | 0 | 0 | 11,905 |
| 31 | 7:45 | 155 | 0 | 72 | 0 | 07:45:01 | 130 | 0 | 59 | 0 | 16,129 |
| 32 | 8:00 | 205 | 0 | 105 | 0 | 08:00:00 | 182 | 0 | 92 | 0 | 11,220 |
| 33 | 8:15 | 177 | 0 | 100 | 0 | 08:14:59 | 156 | 0 | 89 | 0 | 11,864 |
| 34 | 8:30 | 172 | 0 | 97 | 0 | 08:30:00 | 153 | 0 | 86 | 0 | 11,047 |
| Error promedio | | | | | | | | | | | 12,04% |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 8-3: Variables de perfil de carga nodo Wi-Fi

| N° | Software de referencia (Metercat) | | | | Prototipo implementado (Telenergy) | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|---------|-----------|---------|------------------------------------|--------------|---------|-----------|---------|-----------|---------------|
| | Hora lectura | kWh-Del | kVARh-Del | kWh-Rec | kVARh-Rec | Hora lectura | kWhDe l | kVARh Del | kWh Rec | kVARh Rec | % error |
| 1 | 0:15 | 9 | 0 | 0 | 8 | 0:15:00 | 8 | 0 | 0 | 8 | 11,11 |
| 2 | 0:30 | 8 | 0 | 0 | 7 | 0:30:00 | 8 | 0 | 0 | 7 | 0,00 |
| 3 | 0:45 | 14 | 0 | 7 | 4 | 0:45:00 | 14 | 0 | 6 | 4 | 0,00 |
| 4 | 1:00 | 18 | 0 | 14 | 0 | 1:00:00 | 18 | 0 | 14 | 0 | 0,00 |
| 5 | 1:15 | 14 | 0 | 5 | 3 | 1:15:00 | 14 | 0 | 5 | 3 | 0,00 |
| 6 | 1:30 | 6 | 0 | 0 | 6 | 1:30:00 | 6 | 0 | 0 | 6 | 0,00 |
| 7 | 1:45 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1:45:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 8 | 2:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2:00:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 9 | 2:15 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2:15:00 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0,00 |
| 10 | 2:30 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2:30:00 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 11 | 2:45 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2:45:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 12 | 3:00 | 7 | 0 | 5 | 1 | 3:00:00 | 6 | 0 | 4 | 1 | 14,29 |
| 13 | 3:15 | 13 | 0 | 15 | 0 | 3:15:00 | 13 | 0 | 15 | 0 | 0,00 |
| 14 | 3:30 | 13 | 0 | 16 | 0 | 3:30:00 | 13 | 0 | 16 | 0 | 0,00 |
| 15 | 3:45 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3:45:00 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0,00 |
| 16 | 4:00 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4:00:00 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0,00 |
| 17 | 4:15 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4:15:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 18 | 4:30 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4:30:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 19 | 4:45 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4:45:00 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 20 | 5:00 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5:00:00 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,00 |
| 21 | 5:15 | 5 | 0 | 0 | 1 | 5:15:00 | 4 | 0 | 0 | 1 | 20,00 |
| 22 | 5:30 | 9 | 0 | 8 | 1 | 5:30:00 | 9 | 0 | 8 | 1 | 0,00 |
| 23 | 5:45 | 17 | 0 | 16 | 0 | 5:45:00 | 16 | 0 | 15 | 0 | 5,88 |
| 24 | 6:00 | 12 | 0 | 13 | 0 | 6:00:00 | 12 | 0 | 13 | 0 | 0,00 |
| 25 | 6:15 | 6 | 0 | 0 | 2 | 6:15:00 | 5 | 0 | 0 | 2 | 16,67 |
| 26 | 6:30 | 36 | 0 | 0 | 4 | 6:30:00 | 36 | 0 | 0 | 4 | 0,00 |
| 27 | 6:45 | 26 | 0 | 0 | 4 | 6:45:00 | 26 | 0 | 0 | 4 | 0,00 |
| 28 | 7:00 | 22 | 0 | 0 | 3 | 7:00:00 | 22 | 0 | 0 | 3 | 0,00 |
| 29 | 7:15 | 17 | 0 | 5 | 3 | 7:15:00 | 17 | 0 | 5 | 3 | 0,00 |
| 30 | 7:30 | 17 | 0 | 16 | 0 | 7:30:00 | 17 | 0 | 15 | 0 | 0,00 |
| 31 | 7:45 | 18 | 0 | 15 | 0 | 7:45:00 | 17 | 0 | 14 | 0 | 5,56 |
| 32 | 8:00 | 12 | 0 | 13 | 0 | 8:00:00 | 12 | 0 | 13 | 0 | 0,00 |
| 33 | 8:15 | 2 | 0 | 0 | 3 | 8:15:00 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0,00 |
| 34 | 8:30 | 2 | 0 | 0 | 4 | 8:30:00 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0,00 |
| Error promedio | | | | | | | | | | | 2,16 % |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Después de analizar las tablas del perfil de carga se observó que existe variación en ciertos valores, correspondiendo a un error del 2,16% para el nodo Wi-Fi y 12,04 % en el nodo GPRS. Esto se debe a que al realizar el proceso de lectura existe una porción tiempo que no se contabilizan los datos, sin embargo, al graficar los valores obtenidos se pudo determinar la demanda de energía que tiene el cliente.

Eventos e Información general . El historial de eventos ocurrido en el nodo GPRS y Wi-Fi se compara en las tablas 9-3 y 10-3, para el primero se comparó los eventos de los 2 últimos meses, y para el segundo los 10 últimos eventos. Además, se compara la información básica de cada medidor.

Tabla 9-3: Eventos e información básica nodo GPRS

| Software de referencia (Metercat) (2019-11-07 11:27) | | | | Prototipo implementado (Telenergy) (2019-11-22 11:27) | | | |
|--|--------------------|--------------------|----------------|---|--------------------|--------------------|----------------|
| Fecha y hora de evento | # evento | Evento | Realizado por: | Fecha y hora de evento | # evento | Evento | Realizado por: |
| 01-10 2019 00:00 | 43 | Auto lectura | Medidor | Oct 01 2019 00:00 | 43 | Auto lectura | Medidor |
| 1-11- 2019 00:00 | 44 | Demanda reiniciada | Medidor | Nov 01 2019 00:00 | 44 | Demanda reiniciada | Medidor |
| 1-11-2019 00:00 | 45 | Auto Lectura | Medidor | Nov 01 2019 00:00 | 45 | Auto lectura | Medidor |
| Información General | | | | | | | |
| Número de serie | 15029046 | | | Número de serie | 15029046 | | |
| Fabricante | Elster Electronics | | | Fabricante | Elster Electronics | | |
| Versión Firmware | 2,3 | | | Versión Firmware | 2,3 | | |
| Versión Hardware | 3,6 | | | Versión Hardware | 3,6 | | |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Tabla 10-3: Eventos e información básica nodo Wi-Fi

| Software de referencia (Metercat) (23/11/2019 8:34:50) | | | | Prototipo implementado (Telenergy) (23/11/2019 9:30) | | | |
|--|--------------------|--------------------|----------------|--|--------------------|--------------------|----------------|
| Fecha y hora de evento | # evento | Evento | Realizado por: | Fecha y hora de evento | # evento | Evento | Realizado por: |
| 16-10 2019 19:09 | 100 | Apagado primario | Medidor | Nov 16 2019 19:09 | 100 | Apagado primario | Medidor |
| 16-10 2019 19:09 | 101 | Encendido primario | Medidor | Nov 16 2019 19:09 | 101 | Encendido primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:09 | 102 | Apagado primario | Medidor | Nov 16 2019 19:09 | 102 | Apagado primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:19 | 103 | Encendido primario | Medidor | Nov 16 2019 19:19 | 103 | Encendido primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:20 | 104 | Apagado primario | Medidor | Nov 16 2019 19:20 | 104 | Apagado primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:25 | 105 | Encendido primario | Medidor | Nov 16 2019 19:25 | 105 | Encendido primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:26 | 106 | Apagado primario | Medidor | Nov 16 2019 19:26 | 106 | Apagado primario | Medidor |
| 16-11-2019 19:31 | 107 | Encendido Primario | Medidor | Nov 16 2019 19:31 | 107 | Encendido primario | Medidor |
| 18-11-2019 13:37 | 108 | Apagado primario | Medidor | Nov 18 2019 13:37 | 108 | Apagado primario | Medidor |
| 18-11-2019 13:38 | 109 | Encendido Primario | Medidor | Nov 18 2019 13:38 | 109 | Encendido primario | Medidor |
| Información General | | | | | | | |
| Número de serie | 15028996 | | | Número de serie | 15028996 | | |
| Fabricante | Elster Electronics | | | Fabricante | Elster Electronics | | |
| Versión Firmware | 2,3 | | | Versión Firmware | 2,3 | | |
| Versión Hardware | 3,6 | | | Versión Hardware | 3,6 | | |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Se determinó que el programa del prototipo tiene la capacidad de extraer los mismos eventos ocurridos e información general que el software de referencia.

Las figuras 4-3, 5-3 y 6-3 muestran una comparativa de visualización de información entre Metercat y Telenergy para el nodo Wi-Fi.

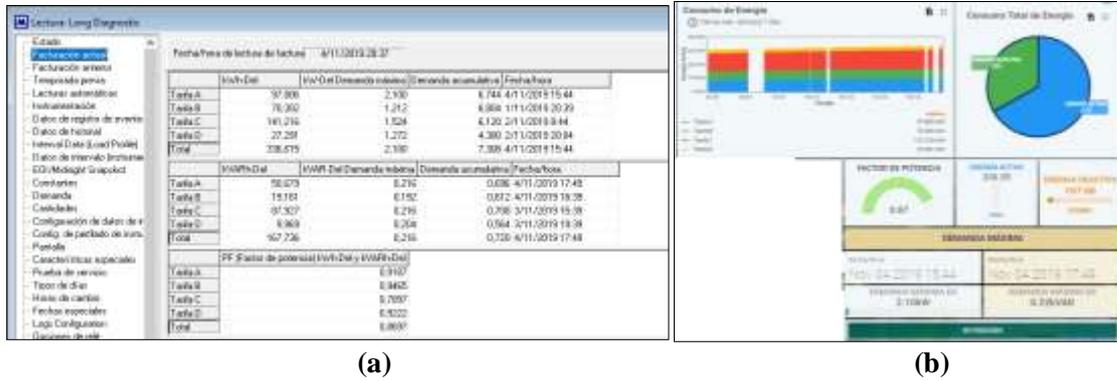


Figura 4-3: Comparación de tabla de facturación nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b)
Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

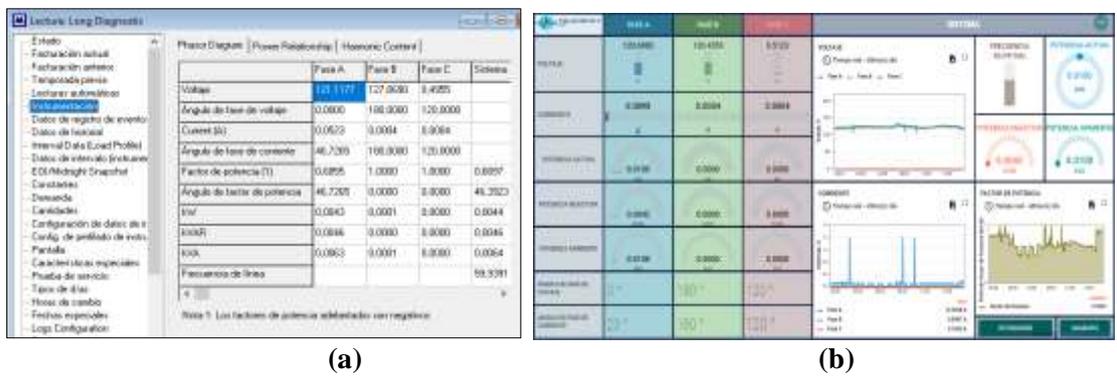


Figura 5-3: Comparación de tabla de instrumentación nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b)
Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

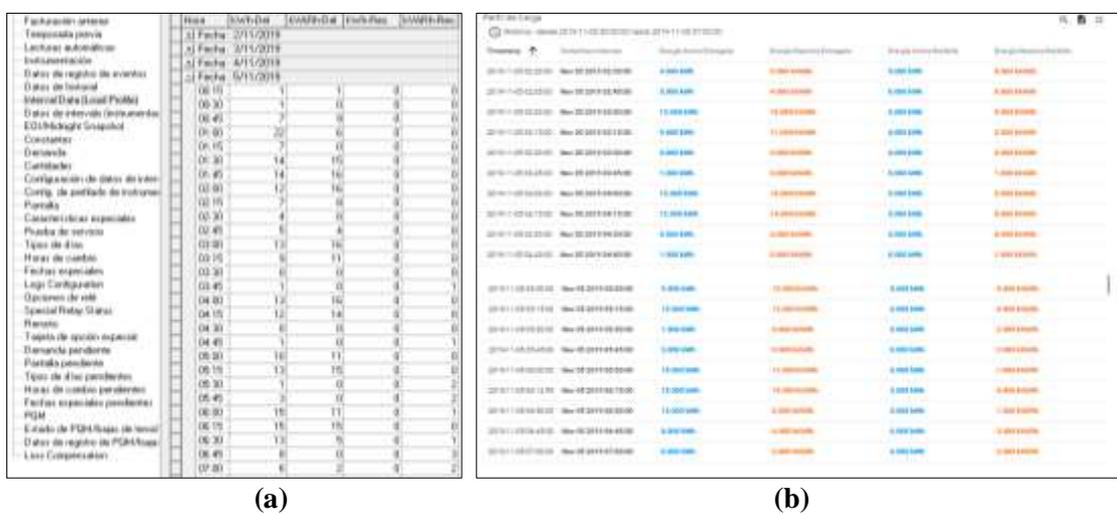


Figura 6-3: Comparación de tabla de perfil de carga nodo Wi-Fi. Metercat (a); Telenergy (b)
Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

En las Figuras 7-3, 8-3 y 9-3 se puede visualizar la comparativa de visualización de información entre Metercat y Telenergy para el nodo GPRS.

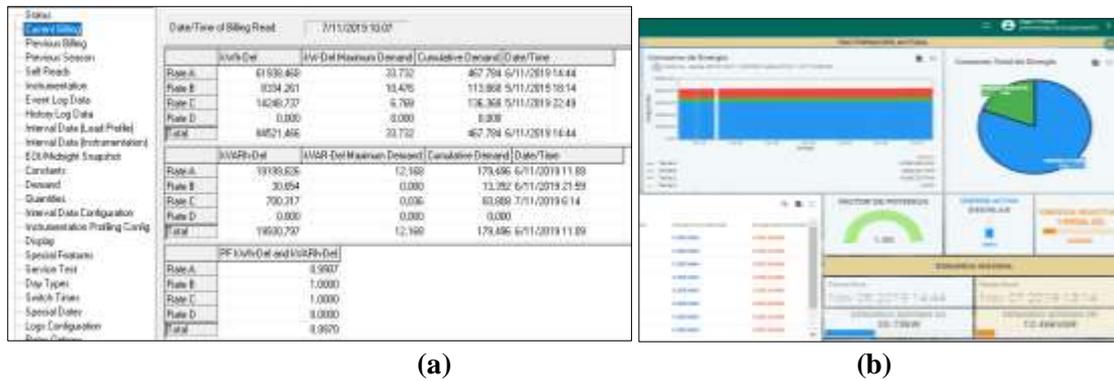


Figura 7-3: Comparación de tabla de facturación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy (b)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

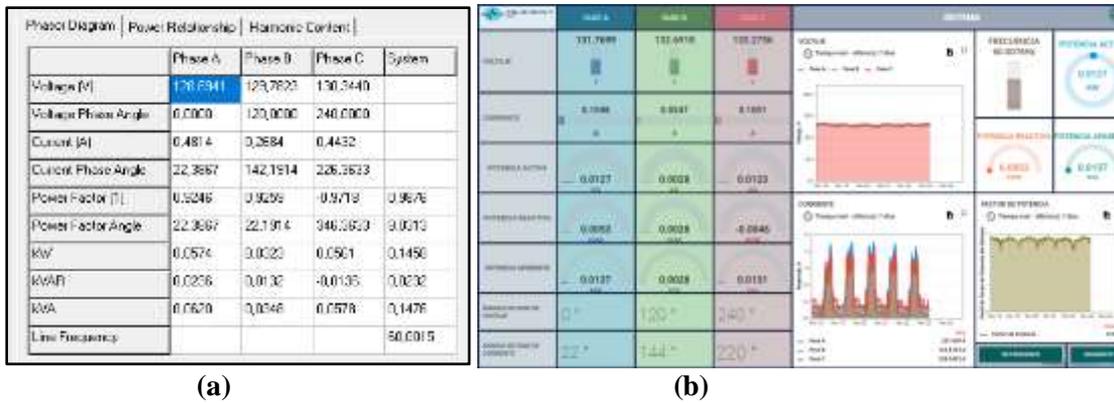


Figura 8-3: Comparación de tabla de instrumentación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy (b)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.



Figura 9-3: Comparación de tabla de instrumentación nodo GPRS. Metercat (a); Telenergy (b)

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

3.3. Pruebas de escalabilidad

Tienen como finalidad determinar el número de usuarios y nodos que soporta el servidor con las características definidas en la sección 2.7.3, para esto se utilizó JMeter el cual es una aplicación JAVA de código abierto diseñada para realizar pruebas de funcionalidad y rendimiento a servidores, permitiendo visualizar los resultados por medio de tablas y gráficos estadísticos (Apache, 2019).

3.3.1 Usuarios máximos

Con la ayuda de un servidor proxy que provee JMeter se construyó un camino de peticiones HTTP simulando el ingreso de un usuario a la aplicación web. Se realizó 3 pruebas con 10, 30 y 50 usuarios en intervalos de 1 segundo y se determinó el máximo soportado en base a la información obtenida con el *software*. Se analiza los resultados a través del cálculo del intervalo de confianza, se requiere que este sea de un 95% para una distribución normal, aplicando la fórmula 2-3.

$$IC_{95\%} = x \bar{x} \pm z \frac{D}{\sqrt{n}} \quad \text{Formula 2-3}$$

Donde

IC= Intervalo de confianza; Es el intervalo de tiempo calculado para cargar la página de monitoreo.

x= Tiempo promedio.

z= Valor crítico que depende del nivel de confianza, 1.96 para 95%.

D= Desviación estándar.

n= Número total de muestras.

Simulación de 10 usuarios.

Tabla 11-3: Resultados totales de JMeter para 10 usuarios.

| | # de muestras | Media (segundos) | Desviación estándar | % error | Rendimiento |
|--------------|---------------|------------------|---------------------|---------|-------------|
| Total | 340 | 0,315 | 923,97 | 0% | 27,5/sec |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

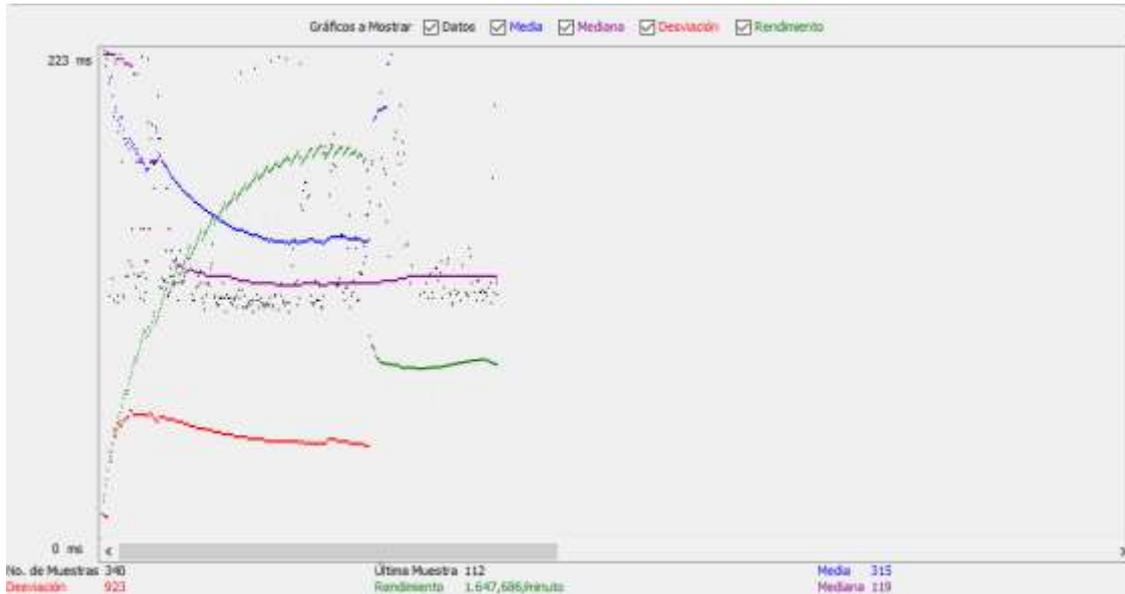


Figura 10-3: Comportamiento de variables para 10 usuarios.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

En la tabla 11-3 se muestra los resultados totales de simulación con 10 usuarios, el tiempo promedio para presentar la página principal de monitoreo fue 0,315 segundos con un total de 340 solicitudes HTTP y una desviación estándar de 923,97. Al aplicar la fórmula 10-3 se obtuvo que el IC esta entre 0,22 y 0,46 segundos. La figura 10-3 muestra el comportamiento de las variables al realizar la simulación.

Simulación con 30 usuarios.

Tabla 11-3: Resultados totales de JMeter para 30 usuarios.

| | # de muestras | Media (segundos) | Desviación estándar | % error | Rendimiento |
|--------------|---------------|------------------|---------------------|---------|-------------|
| Total | 810 | 5,970 | 13552,11 | 9,75% | 4,7/sec |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

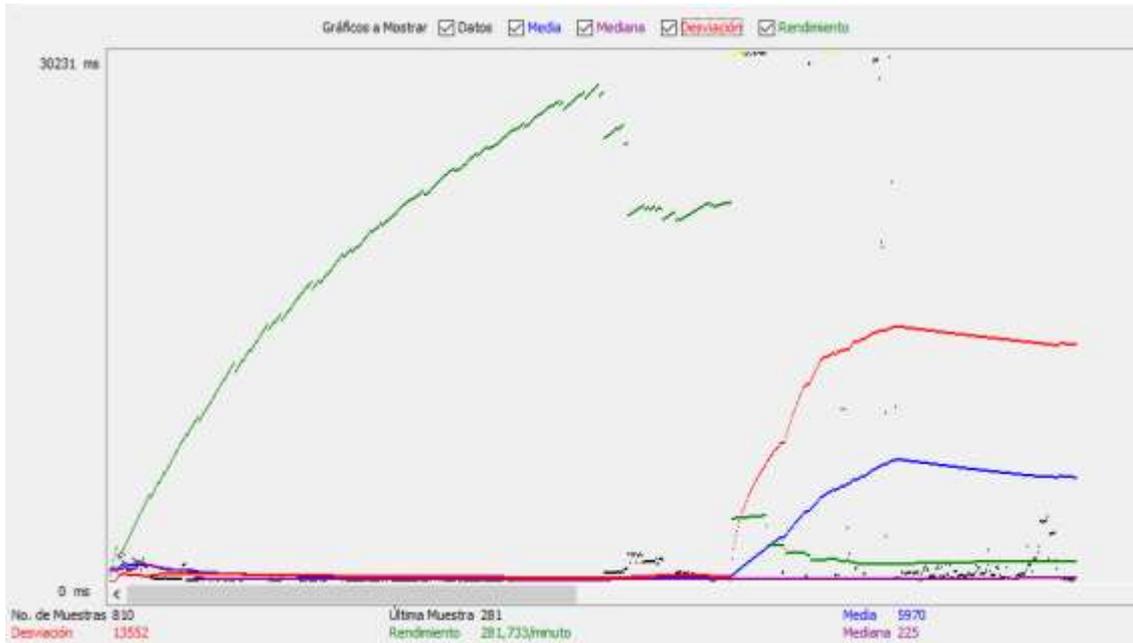


Figura 11-3: Comportamiento de variables para 30 usuarios.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

La tabla 12-3 indica que el tiempo de espera promedio fue 5,97 segundos, se realizaron 810 peticiones HTTP con una desviación de 13552,11 dando como resultado un IC desde 5,03 hasta 6,90 segundos de espera para cargar la página. La figura 11-3 muestra el comportamiento de las variables para 30 usuarios, se observó que el rendimiento del servidor disminuyó cuando empiezan las peticiones de carga del entorno gráfico.

Simulación con 50 usuarios.

Tabla 12-3: Resultados totales de JMeter para 50 usuarios.

| | # Muestras | Media (segundos) | Desviación estándar | % Error | Rendimiento |
|--------------|------------|------------------|---------------------|---------|-------------|
| Total | 1350 | 8,930 | 16166 | 14,82% | 5,46/sec |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

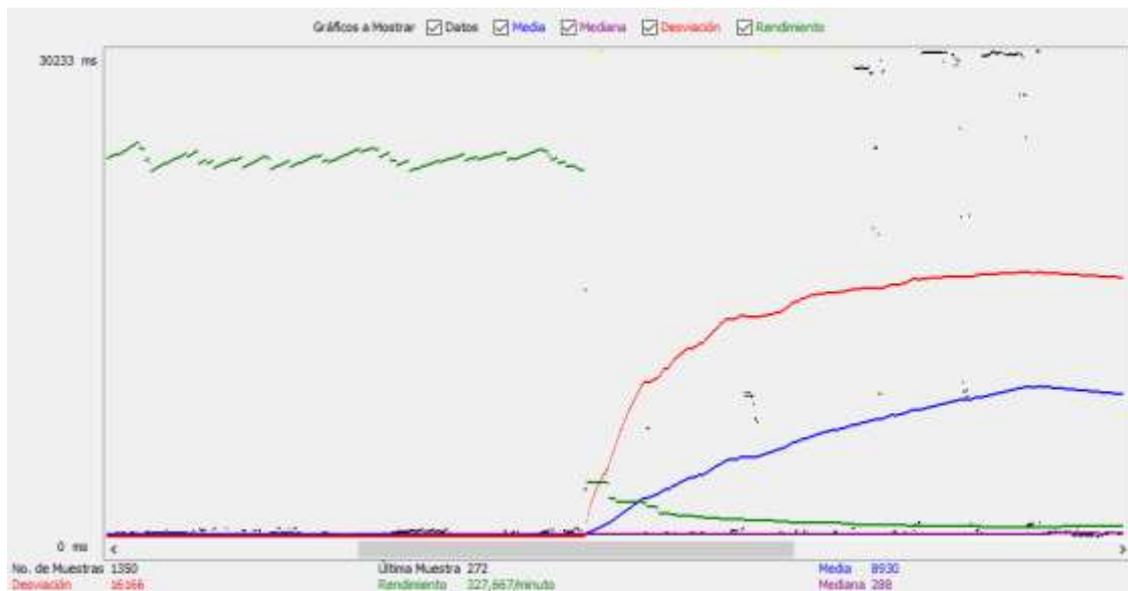


Figura 12-3: Comportamiento de variables para 50 usuarios.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

La tabla 13-3 muestra los resultados totales de simular el ingreso de 50 usuarios, se realizaron 1350 peticiones HTTP con un promedio de carga de 8,93 segundos y una desviación estándar de 16166, al calcular el IC se obtuvieron valores entre 8,06 y 9,79 segundos. La figura 12-3 detalla el comportamiento de las variables al simular el ingreso de 50 usuarios simultáneos a la plataforma de monitoreo.

Se considero 10 segundos como tiempo base para que un usuario espere que la página web se cargue completamente y se determinó que máximo 50 usuarios pueden ingresar simultáneamente a la plataforma de monitoreo.

3.3.2 Nodos

Al igual que la sección anterior se utilizó el *software* JMeter el cual simulo un conjunto de HTTP Post de las variables transmitidas desde cada nodo, se hicieron pruebas con 10, 50 y 100 nodos enviando 30 variables y se determinó la cantidad máxima de nodos en base a los tiempos de respuesta del servidor.

Simulación con 10 nodos.



Figura 13-3: Tiempo de espera promedio y rendimiento para 10 nodos.

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

En la figura 13-3 se muestra el rendimiento y tiempo promedio del servidor al simular Post HTTP de 10 nodos, se observó que el servidor tuvo un promedio de respuesta de 139 milisegundos y un alto rendimiento al procesar los Post HTTP.

Simulación con 50 nodos

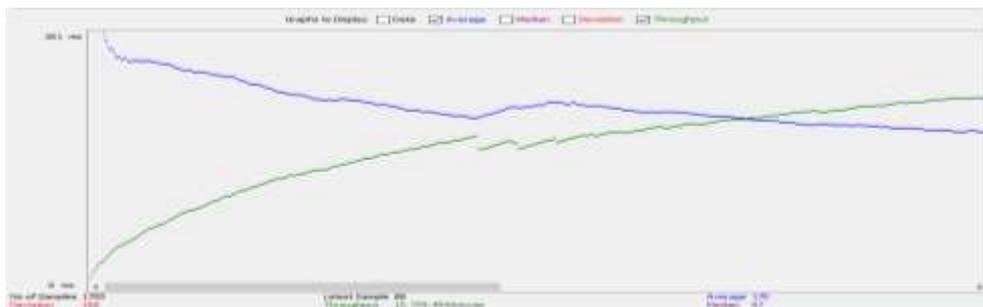


Figura 14-3: Tiempo de espera promedio y rendimiento para 50 nodos

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Cuando se realizó la simulación con 50 nodos enviando un post HTTP cada uno, el tiempo promedio de respuesta fue de 170 milisegundos y se obtuvo un alto rendimiento para procesar las publicaciones de los nodos tal como se muestra en la figura 14-3.

Simulación con 100 nodos

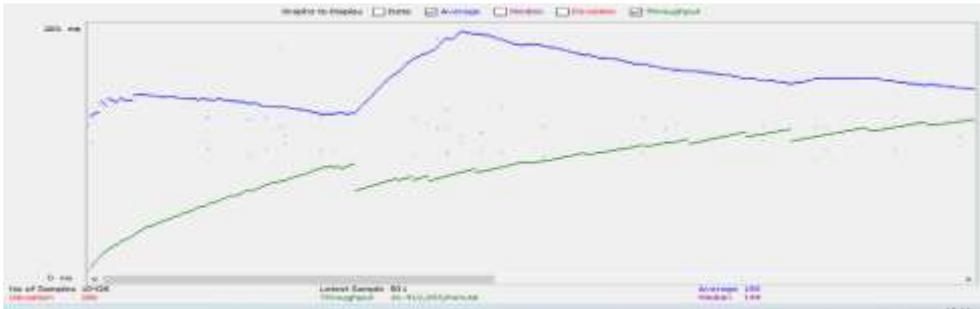


Figura 15-3: Tiempo de espera promedio y rendimiento para 100 nodo

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Al analizar la figura 15-3 se observó que el tiempo de espera promedio es de 190 milisegundos y una alta capacidad de procesamiento de Post HTTP.

De acuerdo a una recomendación de Google, para que una comunicación sea estable, el tiempo máximo de respuesta que se espera del servidor será 200 milisegundos (Gonzales, 2017). En base a esta información y después de analizar los resultados de las simulaciones anteriores se determinó que el servidor soporta máximo 100 nodos conectados.

3.4. Análisis de costo-beneficio del prototipo Telenergy.

En la tabla 13-3 se detalla el precio de los componentes de *hardware* y *software* utilizados para el desarrollo del prototipo de un nodo, sin tomar en cuenta la mano de obra.

Tabla 13-3: Presupuesto del prototipo Telenergy.

| | Componente | Cantidad | Costo (USD) |
|--|----------------------------|----------|---------------|
| Hardware | Raspberry Pi 3B | 1 | 65,00 |
| | Armazón de protección | 1 | 8,00 |
| | Fuente de Alimentación | 1 | 8,00 |
| | Sonda Óptica KMK136 | 1 | 90,00 |
| Hardware adicional | SIM 800L | 1 | 22,00 |
| | Chip Celular | 1 | 2,50 |
| Costo total de hardware | | | 195,50 |
| Software (Pago mensual) | Servidor Microsoft Azure | 1 | 21,00 |
| | Plataforma IoT ThingsBoard | 1 | 10,00 |
| | Recarga Celular | 1 | 5,00 |
| Costo total de Software (mensual) | | | 36 |
| Costo Total del prototipo Telenergy | | | 231,50 |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Al analizar el presupuesto se puede observar que el *hardware* del prototipo representa el 84,63% del costo total, el costo mensual por uso de la plataforma IoT y servidor de monitoreo representa un 15,37% total teniendo en cuenta que podemos utilizar estos recursos para varios nodos. El costo del medidor inteligente es aproximadamente 600 dólares, este valor no se incluye ya que el equipo fue proporcionado por CNEL.

Tabla 145-3: Comparativa entre el software Metercat y Telenergy

| Característica | Software referencia (Metercat) | Prototipo implementado (Telenergy) |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Forma de lectura | Local | Remota |
| Alarmas | No | Si |
| Información histórica gráfica | No | Si |
| Interoperabilidad | Medidor Elster | Medidores con el estándar ANSI C12.18 |
| Acceso a la información | Empresa distribuidora | Empresa distribuidora y clientes finales |
| Información de consumo | Uno a la vez | Todos |

Realizado por: Roque, Liliana; Granda, Edgar; 2019.

Analizada la tabla 14-3 se determina que el prototipo implementado ofrece mayores prestaciones que el software Metercat, una de ellas es la supervisión continua del variables como “Factor de Potencia” (FP). Según la regulación 004/18 de la ARCONEL establece que los consumidores deben mantener un FP por encima de 0.92, de no ser así se impondrá una multa que puede aumentar hasta en un 120% la factura del cliente (Arconel, 2017) .

Por otro lado, la empresa distribuidora de energía puede conocer de manera inmediata si existen problemas en la red de energía eléctrica y solucionarlos rápidamente.

Analizando la situación presentada en la tabla 13-3 se determinó que la inversión es baja comparada con las pérdidas económicas que se generan a largo plazo tanto para la empresa distribuidora como para el cliente. Además, el prototipo implementado representa un 64% del precio de los módulos de easymetering presentes en el mercado nacional.

3.5. Alcance de la arquitectura básica del prototipo.

Pueden desarrollarse varias aplicaciones basadas en la adquisición, procesamiento, transmisión y visualización de datos empleando la plataforma ThingsBoard, la misma que al ser orientada al IoT puede aplicarse en otras áreas donde se requiera supervisión y análisis de datos como monitoreo de invernaderos, domótica, iluminación, contaminación, control de servicios básicos, etc.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó nodos integrables a una red de telemedición de parámetros eléctricos para el sector industrial, los cuales envían datos por medio de tecnología Wi-Fi y GPRS a una plataforma IoT instalada en la nube con la finalidad de visualizar información en tiempo real.
- Al evaluar la comunicación entre la Raspberry Pi 3 y el medidor de energía, se determinó que el programa desarrollado utilizó el estándar ANSI C12.18 para la extracción de los datos solicitados.
- A partir de una comparativa del tiempo de retardo para la visualización de información en la plataforma IoT, se estableció que el uso de las tecnologías de acceso a internet Wi-Fi o GPRS es indistinto para la transmisión de datos.
- Al comparar el número de lecturas realizadas entre los nodos instalados, se determinó que la tecnología GPRS ofrece una disponibilidad de información 97.1%, convirtiéndose en la mejor opción para lograr un monitoreo constante.
- De las pruebas realizadas, al contrastar los valores obtenidos por el *software* comercial y el prototipo implementado, se comprobó que la información de facturación, instrumentación y eventos es similar a la mostrada por el *software* Metercat, y la información de perfil de carga tiene un error de 12,04% y 2,16 % para el nodo GPRS y Wi-Fi respectivamente.
- A partir de simulaciones de escalabilidad se estableció que el servidor soporta máximo 50 usuarios accediendo simultáneamente a la plataforma de monitoreo y 100 nodos conectados.
- Al analizar los beneficios que brinda el prototipo, se concluye que existirá un ahorro económico a largo plazo tanto para la empresa proveedora de energía como el cliente, pues se dispondrá de información que permitirá corregir errores técnicos y aprovechar al máximo el uso de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Ampliar el tiempo de pruebas para obtener información que permita realizar mejoras en la comunicación y procesos de lecturas del prototipo.
- Diseñar una tarjeta de fácil configuración que utilice nuevos estándares de comunicación para extracción y transmisión de datos, permitiendo la integración directa en la placa base del medidor.
- Contratar un servicio de acceso a internet dedicado para disminuir los tiempos de retardo y mejorar la disponibilidad de información.
- Implementar un servidor y pagina web propios que se ajuste a los requerimientos del sector energético, para el almacenamiento y visualización de información.
- Añadir algoritmos de cifrado para garantizar la integridad de los datos en el proceso de trasmisión de estos.
- Analizar información por personal especializado con el fin de crear sistemas de inteligencia artificial en base a modelos matemáticos, que permitan predecir y corregir en tiempo real fallas en la red eléctrica contribuyendo a mejorar la calidad de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

247TECNO. *Tecnologías inalámbricas* [en línea]. 2018. [Consulta: 14 agosto 2019]. Disponible en: <http://247tecno.com/tecnologias-inalambricas-caracteristicas-y-como-funcionan/>

247TECNO. *Topología de red - que es, tipos y características* [en línea]. 2019. [Consulta: 21 agosto 2019]. Disponible en: http://247tecno.com/topologia-de-red-tipos-caracteristicas/?fbclid=IwAR1vzguHOPfO9GyKS-6JRJsDm6KOy4qQBu9gRklXJ25fDacn3K7Alx-_46o

330OHMS. *Bluetooth, clases y versiones desde v1.0 hasta v5.0 - 330ohms* [en línea]. 2017. [Consulta: 11 noviembre 2019]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-v5-0/>

ALDÁS COLLAGUAZO, Alejandro David. Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial para el DMQ bajo las normas ansi[en línea](Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2015. pp. 10-12. [Consulta: 2019-10-07]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8889>

AMERICA DIGITAL NEWS. *Plataformas IoT: Qué son y por qué implementarlas - news america digital.* [en línea]. 2019. [Consulta: 4 septiembre 2019]. Disponible en: <https://news.america-digital.com/iot-plataformas-implementacion-exitosa/>

APACHE. *Apache JMeter - Apache JMeter* [en línea]. 2019. [Consulta: 7 noviembre 2019]. Disponible en: <https://jmeter.apache.org/>

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD, ECUADOR. *Resolución ARCONEL- 005/17.* [en línea]. Quito- Ecuador: 2017[Consulta: 28 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/boletines-estadisticos/>

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE TELECOMUNICACIONES, ECUADOR. *Boletín Estadístico ARCOTEL.* [en línea]. Quito-Ecuador. 2018[Consulta: 07 noviembre 2019]. Disponible en: www.arcotel.gob.ec

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD, ECUADOR. *Resolución ARCONEL- 005/18.* [en línea]. Quito- Ecuador: 2018 [Consulta: 22 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/boletines-estadisticos/>

ARMIJOS ABRIL, Jairo Andres, & PESÁNTEZ ALVARADO, Álvaro Daniel. Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 15-16. [Consulta: 15 noviembre 2019]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24342>

CHRISTENNOSN. *Definición de Python.* [en línea]. 2010. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://techterms.com/definition/python>.

CIRCUITOR SA. *Analizadores de redes eléctricas.* [en línea], 2019. [Consulta: 3 octubre 2019]. Disponible en: http://docs.circuitor.com/docs/CT_AnalizadoresFijos_SP.pdf

LAZO QUISPI, E. *Parametros electricos voltaje corriente ectrica.* [en línea]. 2013. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/163389370/PARAMETROS-ELECTRICOS>

DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. *Directiva 2012/27/UE del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2012,* 1,2012, pp. 17-20

DURÁN, J. *Raspberry pi: Primeros pasos - somos binarios* [en línea]. 2013. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.somosbinarios.es/raspberry-pi-1-primeros-pasos/>

ELECTRÓNICA SL. *Redes inalámbricas fundamentales para Internet de las Cosas* [en línea]. 2016. [Consulta: 14 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.redeweb.com/articulos/software/11-redes-inalambricas-fundamentales-para-internet-de-las-cosas/>

ELSTER. *Medidor electronico polifasico A3RAL, Alpha A3 3 hilos de 120-480 v. - Electro Cornejo Calidad y Experiencia* [en línea]. 2018. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <http://electrocornejo.com/ver-producto.php?SID&id=345>

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO. *Medición inteligente y administración de datos de energía en América Latina administración de propiedades - Gerencia de edificios* [en línea]. 2015. [Consulta: 16 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.gerenciadeedificios.com/201605035071/noticias/empresas/medicion-inteligente-y-administracion-de-datos-de-energia-en-america-latina.html>

EMPRESAS ELÉCTRICAS ASOCIACION GREMIAL. *Medición Inteligente* [en línea]. 2018. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.electricas.cl/medicioninteligente/>.

GONZALES, J. *Reducir el tiempo de respuesta del servidor, clave para el SEO - USEO* [en línea]. 2017. [Consulta: 7 noviembre 2019]. Disponible en: https://useo.es/reducir-el-tiempo-de-respuesta-del-servidor/?fbclid=IwAR2l6uPqDabo4rQNNrv5lLup2L0RAbMRQyn7jEqAhnCqR_NZpBbQ1hh0hb8

HEREDIA, D. *Ddesarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones* [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela de Tecnología eléctrica, Pereira, Colombia, 2013. pp-35-38. [Consulta: 2019-08-25]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3223>

IOT CONSULTING. *Plataformas Open Source para IoT.* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Disponible en: <https://iotconsulting.tech/3-plataformas-open-source-para-iot/>

JIMÉNEZ, R. *Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe - Reporte del Banco Interamericano de Desarrollo* [en línea]. 2014.[Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/16883/electricidad-perdida-dimensionando-las-perdidas-de-electricidad-en-los-sistemas>

LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES EN LA EDUCACIÓN VIRTUAL. *Tecnología GPRS.* [en línea]. 2019. [Consulta: 23 septiembre 2019]. Disponible en: <https://tecnologiasmovilesenlaeducacionvirtual.wordpress.com/inicio/>

LLAMAS, L. *NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266.* [en línea]. 2019. [Consulta: 3 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>

OSORES, M. *Tendencias de control y medición inteligente de energía en América Latina* [En línea]. 2016. [Consulta: 17 Febrero 2019]. Disponible en: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/cronica/Tendencias-de-control-y-medicion-inteligente-de-energia-en-America-Latina>

MANOTAS CAMPOS, Jesica Julieth, & MARTINEZ MARIN, Nicolas. *Exploración de las plataformas iot en el mercado para fomentar el conocimiento, buen uso y efectividad de los dispositivos iot creados en la facultad de Ingenieria y ciencias basicas de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano* [en línea]. (Trabajo de Titulacion). Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, Bogota, Colombia, 2018. pp.23-25. [Consulta: 5 septiembre 2019]. Disponible en: http://190.131.241.186/bitstream/handle/10823/1215/Documento_Trabajo_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MATHWORKS. *IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things* [en línea]. 2019. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <https://thingspeak.com/>

MCDOWELL, G. *Google's Quantum Supremacy Signals Huge Advance in Computing* [en línea]. 2014. [Consulta: 11 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.makeuseof.com/tag/quantum-supremacy/>

MICROSOFT: *Microsoft Azure* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/>

MINTEL. *Plan de servicio universal 2018-2021 octubre 2018 viceministerio de tecnologías de la información y comunicación* [en línea]. Quito, Ecuador, 2017. pp- 80-85. [Consulta: 15 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/Plan-de-Servicio-Universal.pdf>

MONTESDEOCA, S. *Diseño y construcción de un prototipo de lectura automática de parámetros eléctricos (AMR automatic meter reading) para medidores de energía eléctrica de tipo industrial a través de GPRS.*[en línea]. (Trabajo de titulacion).Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador. 2012.[Consulta: 2019-02-10]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4450>

MORA, D. *Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía* [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016. pp. 20-30. [Consulta: 2019-11-26]. Disponible: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6630>

MORALES NARANJO, Milton Ramon, & RODRIGUEZ ACOSTA, Jose Maria. *Implementación de un medidor de consumo eléctrico residencial para facturación via internet* [en línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013. pp- 5-10. [Consulta: 2019-08-22]. Disponible en: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12204>

NEMA. *ANSI C12.18-2006: American National Standard for Protocol Specification for ANSI Type 2 Optical Port.* [en línea]. 2004. [Consulta: 5 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.nema.org/stds/c12-18.cfm>

NEMA. *ANSI C12.19-2008* [en línea]. 2008. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.nema.org/Standard/ComplimentaryDocuments/ANSI-C1219-2008-contents-and-scope.pdf>

PAREDES, M. *Implementación de un prototipo de wsn con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el CER – EsPOCH* [en línea]. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017. pp. 22-30. [Consulta: 14 agosto 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7956/1/98T00173.pdf>

PAREWA LABS. *9 mejores IDE de Python y editores de código* [en línea]. 2018. [Consulta: 11 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.programiz.com/python-programming/ide>

PASTOR, J. *Raspberry Pi 3 B+, análisis: review con características, precio y especificaciones* [en línea]. 2018. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>

RASPBERRY SHOP. *Raspberry Pi en español.* [en línea]. 2017. [Consulta: 3 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.raspberrystore.com/>

REDZ. *Sonda Optica KMK116.* [en línea], 2019. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: https://probeformeters.com/public/brochure/brochure_kmk116_esp.pdf

REINOSO, J. "Sistema de Medición Inteligente de Energía Eléctrica en la Empresa The Tesalia Springs Company S.A.: Implementación y Análisis de Resultados". Revista Politecnica[en línea]. 2017,(Ecuador) 39(2), pp. 2-5. [Consulta: 20 Agosto 2019]. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v39n2/2477-8990-rpolit-39-02-00033.pdf>

ROCA, J. *El mercado mundial de contadores inteligentes superará los 7.000 millones de dólares en 2023* [en línea]. 2019. [Consulta: 26 noviembre 2019]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/el-mercado-mundial-de-contadores-inteligentes-superara-los-7-000-millones-de-dolares-en-2023/>

ROUSE, M. *¿Qué es Plataforma como servicio o PaaS? - Definición en WhatIs.com* [en línea]. 2019. [Consulta: 18 noviembre 2019]. Disponible en: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Plataforma-como-servicio-o-PaaS>.

SANDOVAL, E. *Topologías de red* [en línea]. 2011 .[Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/sistemas/redes/topologias.pdf

SFELECTRONICS. *SMS Controller by Using SIM800L V2: 5 Steps.* [en línea]. 2017. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.instructables.com/id/SMS-Controller-by-Using-SIM800L-V2/>

SINELEC. *Energía reactiva y energía activa: diferencias* [en línea]. 2018. [Consulta: 5 diciembre 2019]. Disponible en: <https://gruposinelec.com/energia-reactiva-y-energia-activa-diferencias/>

TAMA, Alberto. *Las pérdidas de energía eléctrica* [en línea]. 2014, [Consulta: 02 Febreo 2019]. pp. 12-17.

TECHLANDIA. *Diferencias entre infrarrojo y bluetooth* [en línea]. 2019. [Consulta: 14 agosto 2019]. Disponible en: https://techlandia.com/diferencias-infrarrojo-bluetooth-lista_514146/

TECHOPEDIA. *What is a Tree Topology? - Definition from Techopedia* [en línea]. 2019. [Consulta: 11 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definition/24206/tree-topology>

THINGSBOARD. *¿Qué es ThingsBoard?* [en línea]. 2019 [Consulta: 10 septiembre 2019]. Disponible en: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACION Y COMUNICACIÓN PORTAL. *Amazon Web Services (AWS) : ¿qué es y qué ofrece?* [en línea]. 2019. [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.ticportal.es/temas/cloud-computing/amazon-web-services>

UBIDOTS. *Ventajas de Ubidots* [en línea]. 2019. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <https://ubidots.com/platform/>

XATAKA. *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno* [en línea]. 2019. [Consulta: 3 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

Anexo B: Especificaciones técnicas de la Sonda Óptica KMK

KMK 136

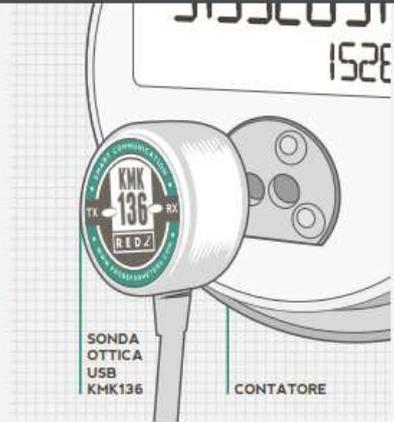
SONDA OTTICA USB

INFO@PROBEFORMETERS.COM
PROBEFORMETERS.COM

RED
SMART COMMUNICATION



La sonda ottica REDZ KMK136 è progettata in conformità con le norme ANSI C12.18 Tipo 2 ed è compatibile con tutte le marche e i tipi di contatori omologati IEC. La sonda dispone di un connettore USB Maschio di tipo A, per cui può essere utilizzata con portatili e altri dispositivi compatibili.



SONDA OTTICA USB KMK136

CONTATORE

| SPECIFICHE MECCANICHE | |
|---|---------------------------|
| Diametro: | 32 mm |
| Altezza: | 28,5 mm |
| Forza magnetica: | N36 |
| Materiale della struttura e della copertura posteriore: | ABS |
| Componenti trasparenti: | Polycarbonato trasparente |
| Peso: | ~ 125 gr |

| SPECIFICHE ELETTRICHE | |
|-------------------------------------|--|
| Norma: | ANSI C12.18 Tipo 2 |
| Lunghezza del cavo: | 3 m |
| Velocità di comunicazione dei dati: | massimo 19200 baud |
| Tensione d'impiego: | 5 V (Porta passiva alimentata via USB) |
| Interfaccia elettrica: | USB di tipo A |
| Lunghezza d'onda: | ~ 900 nm |

Anexo C: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 Modelo B



Raspberry Pi 3 Model B

Product Name Raspberry Pi 3

Product Description The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. The powerful and low-cost single board computer can be used for many applications and is a perfect fit for the original Raspberry Pi Model B and Raspberry Pi 2 Model B. What's not to love? The popular board format, the Raspberry Pi 3 Model B brings you a more powerful computer. It's faster than the first generation Raspberry Pi. Additionally, it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity, making it the ideal solution for powerful connected designs.

IS Part Number 494-0448





Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor Broadcom BCM2837 (chipset)
1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53
302.11 chip (Broadcom LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE))

GPU Dual Core VideoCore IVs Multimedia Co-Processors, PowerVR G6
PXC2.0 hardware-accelerated OpenCL, and 1080p@30Hz high-profile decode

Memory Capable of 1GB (V1), 1.5GB (v2) or 2GB (V3) with feature sharing and DMA infrastructure
1GB LPDDR2

Operating System Runs from MicroSD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT

Dimensions 85 x 56 x 17mm

Power Micro USB socket (V1), 2.5A

Connectors

Ethernet 10/100 baseT Ethernet socket

Video Output HDMI Rev 1.3, 8/1.4
Composite RCA (Y/Cb and Y/Cr)

Audio Output Audio Output 3.5mm jack, HDMI
USB 4 x USB 2.0 Connector

GPIO Connector 40-pin 2.54mm (100-mil) expansion header: 50% I/O
Pinning of GPIO pins as well as +3.3V, +5V and GND supply pins

Camera Connector 15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)

Display Connector Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane

Memory Card Slot Push/Pull Micro SDIO

Key Benefits

- Low cost
- Consistent board format
- 1.5x faster processing
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- IoT applications
- Media centre
- Robotics
- Industrial/enterprise automation
- Server/cloud server
- Prototyping
- Security monitoring
- Web camera
- Gaming
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)



www.rs-components.com/raspberrypi



www.rs-components.com/raspberrypi



Anexo D: Especificaciones técnicas SIM 800L

1. Introduction

This document describes SIM800L hardware interface in great detail. This document can help user to quickly understand SIM800L interface specifications, electrical and mechanical details. With the help of this document and other SIM800L application notes, user guide, users can use SIM800L to design various applications quickly.

2. SIM800L Overview

SIM800L is a quad-band GSM/GPRS module that works on frequencies GSM850MHz, GSM900MHz, DCS1800MHz and PCS1900MHz. SIM800L features GPRS multi-slot class 12 class 0 (optional) and supports the GPRS coding schemes CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4.

With a key configuration of US\$917.8*2.4mm, SIM800L can meet almost all the space requirements in most applications, such as smart phone, PDA and other mobile devices.

SIM800L has 0.9mm pins of LGA packaging, and provides all hardware interfaces between the module and customer's boards:

- Support 12*12 keypad
- One full modem serial port, user can configure two serial ports.
- One USB, the USB interfaces can debug, download software.
- Audio channel which includes two microphone inputs, a receiver output and a speaker output.
- Programmable general purpose input and output.
- A SIM card interface.
- Support FM.
- Support one PWM.

SIM800L is designed with power-saving technique so that the current consumption is as low as 6.7mA in sleep mode.

2.1. SIM800L Key Features

Table 1: SIM800L key features

| Features | Implementation |
|--------------------|--|
| Power supply | 3.0V~4.4V |
| Power saving | typical power consumption in sleep mode is 6.7mA (AT+CFUN=0) |
| Frequency bands | <ul style="list-style-type: none"> Quad-band: GSM 850, GSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM800L can switch the 4 frequency bands automatically. The frequency bands can also be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to document [1]. Compliance to GSM Phase 22+ |
| Transmitting power | <ul style="list-style-type: none"> Class 1 (2W) at GSM 900 and EGSM 900 Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900 |
| GPRS connectivity | <ul style="list-style-type: none"> GPRS multi-slot class 12 (default) GPRS multi-slot class 1~11 (option) |
| Temperature range | Normal operation: -40°C ~ +85°C |



Table 2: Coding schemes and maximum net data rates over air interface

| Coding scheme | 1 channel | 2 channels | 4 channels |
|---------------|-----------|------------|------------|
| CS-1 | 9.0kbps | 18.1kbps | 36.2kbps |
| CS-2 | 11.4kbps | 22.8kbps | 45.6kbps |
| CS-3 | 11.6kbps | 23.2kbps | 46.4kbps |
| CS-4 | 11.8kbps | 23.6kbps | 47.2kbps |

2.2. Operating Mode

The table below summarizes the various operating modes of SIM800L.

Table 3: Overview of operating modes

| Mode | Function |
|----------------------------|---|
| Normal operation | GSM/GPRS SLEEP Mobile will automatically go into sleep mode if the conditions of sleep mode are meeting and there is no air and no hardware interrupt (such as GPRS interrupt or data on serial port). In this case, the current consumption of module will reduce to the minimal level. In sleep mode, the module can still receive paging message and SMS. |
| | GSM IDLE Software is active. Module is registered to the GSM network, and the module is ready to communicate. |
| | GSM TALK Connection between two subscribers is in progress. In this case, the power consumption depends on network settings such as DTX, off/on, FR, FR, DR, hopping sequence, antenna. |
| | GPRS STANDBY Module is ready for GPRS data transfer, but no data is currently sent or received. In this case, power consumption depends on network settings and GPRS configuration. |
| Power down | GPRS DATA There is GPRS data transfer (PPP or TCP or UDP) in progress. In this case, power consumption is related with network settings (e.g. power control level), uplink/downlink data rates and GPRS configuration (e.g. used multi-slot settings). |
| | Normal power down by sending AT command "AT+CFUN=0" or using the PWRKEY. The power management unit shuts down the power supply for the baseband part of the module, and only the power supply for the RTC is remained. Software is not active. The serial port is not accessible. Power supply (connected to VBAT) remains applied. |
| Minimum functionality mode | AT command "AT+CFUN" can be used to set the module to a minimum functionality mode without removing the power supply. In this mode, the RF part of the module will not work as the SIM card will not be accessible, or both RF part and SIM card will be closed, and the serial port is still accessible. The power consumption in this mode is lower than normal mode. |



| | |
|----------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> Storage temperature: -40°C ~ +85°C |
| Data GPRS | <ul style="list-style-type: none"> GPRS data download transfer: max. 15.6 kbps GPRS data upload transfer: max. 11.8 kbps Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4 PPP protocol for PPP context Integrate the TCP/IP protocol Support Packet Broadcast Control Channel (PBCC) CSD transmission rates: 2.4, 4.8, 9.6, 14.4 kbps |
| CSD | Support CSD transmission |
| USSD | Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support |
| SMS | <ul style="list-style-type: none"> MT, MO, CD, Text and PDU mode SMS storage: SIM card |
| SIM interface | Support SIM card: 1.8V, 3V |
| External antenna | Antenna port |
| Audio features | Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> Half Rate (ETS 06.20) Full Rate (ETS 06.30) Enhanced Full Rate (ETS 06.31 / 06.60 / 06.61) Adaptive multi rate (AMR) Echo Cancellation Noise Suppression |
| Serial port and debug port | Serial part: <ul style="list-style-type: none"> Full modem interface with status and control lines, unbalanced, asynchronous 230bps to 115200bps Can be used for AT commands or data stream Support 8-TASKS hardware handshake and software (INVOK) flow control Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplex Protocol Autobauding supports baud rate from 1200 bps to 57600bps, depending firmware Debug part: <ul style="list-style-type: none"> USB, JTAG and UART Can be used for debugging and upgrading firmware. |
| Phonebook management | Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, OR, MC |
| SIM application module | GSM 11.14 Release W |
| Real time clock | Support RTC |
| Timing functions | Use AT command set |
| Physical characteristics | Size: 15.9*17.8*2.4mm Weight: 1.75g |
| Firmware upgrade | Blow serial port or USB port |



2.3. Functional Diagram

The following figure shows a functional diagram of SIM800L.

- GSM baseband
- GSM RF
- Antenna interface
- Other interface

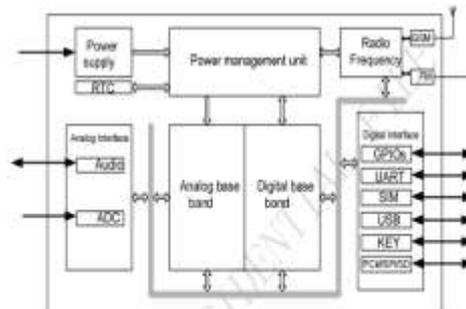


Figure 6: SIM800L functional diagram

3. Package Information

3.1. Pin out Diagram



Figure 2: SIM8000 pin out diagram (Top view)

3.2. Pin Description

Table 4: Pin description

| Pin name | Pin number | I/O | Description | Comment |
|-------------------------|---|-----|--|---|
| Power supply | | | | |
| VBAT | EA2 | I | Power supply | |
| VDD | 56 | IO | Power supply for RTC | It is recommended to connect with a battery or a capacitor (e.g. 4.7µF). |
| VDD1 | 18 | O | 1.8V power output | If these pins are unused, keep open. |
| GND | 24,8,35,37,38,39, 41,43,44,45,54,57, 71,72,73,76,77,7, 8,79,80,81,82,83, 84,85,86,87,88 | | Ground | GND for VBAT recommended to use L43,44,45pin. |
| Power control | | | | |
| POWERKEY | 40 | I | POWERKEY should be pulled low at least 1 second and then released to power on/down the module. | Externally pulled up to VBAT. |
| Audio interfaces | | | | |
| MIC1P | 32 | I | Differential audio input | If these pins are unused, keep open. |
| MIC1N | 12 | | | |
| MIC2P | 31 | O | Differential audio output | |
| MIC2N | 13 | | | |
| MIC3P | 9 | I | Differential audio input | |
| MIC3N | 10 | | | |
| MIC4P | 51 | O | Differential audio output | |
| MIC4N | 11 | | | |
| PCM interface | | | | |
| PCMCLK | 29 | O | | If these pins are unused, keep open. |
| PCMOUT | 30 | I | PCM interface for audio | |
| PCMSYNC | 40 | O | | |
| PCMIH | 46 | I | | |
| Keypad interface | | | | |
| COL1 | 24 | I | Support up to 20 buttons (0~19) | If these pins are unused, keep open. (Pin number 20 reserved cannot be pulled down) |
| COL2 | 21 | I | | |
| COL3 | 22 | I | | |
| COL4 | 25 | I | | |
| COL5 | 20 | I | | |
| ROW4 | 41 | O | | |
| ROW3 | 31 | O | | |

| | | | | |
|-----------------------------------|----|----|---|--|
| ROW2 | 61 | O | | |
| ROW1 | 60 | O | | |
| ROW0 | 62 | O | | |
| GPIO | | | | |
| GPIO1 | 3 | IO | Programmable general purpose input and output | |
| GPIO2 | 27 | IO | | |
| GPIO3 | 28 | IO | | |
| NETLIGHT | 64 | O | Network status | |
| STATUS | 4 | O | Power on status | |
| Serial port | | | | |
| UART_DIR | 68 | I | Data terminal ready | If these pins are unused, keep open. |
| UART_RI | 68 | O | Ring indicator | |
| UART_DCD | 70 | O | Data carrier detect | |
| CTS | 34 | O | Request to send | |
| RTS | 35 | I | Clear to send | |
| TXD | 32 | O | Transmit data | |
| RXD | 31 | I | Receive data | |
| Debug interface | | | | |
| VBUS | 7 | I | | If these pins are unused, keep open. |
| USB_DP | 59 | IO | Debug and download | |
| USB_DM | 19 | IO | | |
| ADC | | | | |
| ADC | 50 | I | 10bit general analog to digital converter | If these pins are unused, keep open. |
| PWM | | | | |
| PWM | 28 | O | Pulse-width modulation | If these pins are unused, keep open. |
| I²C | | | | |
| SDA | 75 | IO | I ² C serial bus data | Need external pulled up |
| SCL | 74 | O | I ² C serial bus clock | |
| SIM card interface | | | | |
| VSM | 16 | O | Voltage supply for SIM card. Support 1.8V or 3V SIM card. | All signals of SIM interface should be protected against ESD with a TVS diode array. |
| SIM_DATA | 14 | IO | SIM data input/output | |
| SIM_CLK | 55 | O | SIM clock | |
| SIM_RST | 15 | O | SIM reset | |
| SIMPRE | 54 | I | SIM card detection | |
| Antenna interface | | | | |
| ANT | 40 | IO | Connect GSM antenna | |
| FM_ANT_P | 17 | I | Differential antenna for FM | |
| FM_ANT_N | 37 | I | | |
| Synchronizing signal of RF | | | | |

| | | | | |
|--------------|----|---|----------------------------|--|
| BPL_BUST | 5 | O | Synchronizing signal of RF | |
| Other | | | | |
| RESET | 49 | I | Reset input(Active low) | |
| ISINK1 | 46 | I | Drive keypad backlight | |
| ISINK0 | 47 | I | Drive LCD backlight | |
| NC | | | | |
| NC | 36 | | | |

Anexo E: Código NAP

```
#!/usr/bin/perl

import serial

import time
import struct
import datetime
from datetime import time
from time import sleep

import paho.mqtt.client as mqtt
import json

broker='tcp://energy.southcentralus.cloudapp.azure.com'
token='T0XW8LgYt0L1z68T8'

ack=(b'\x05')

try:
    ser=serial.Serial(
        port= '/dev/ttyUSB0',
        baudrate = 9600,
        parity = serial.PARITY_NONE,
        stopbits = serial.STOPBITS_ONE,
        bytesize=serial.EIGHTBITS,
        timeout=0.5 )
except:
    ser=serial.Serial(
        port= '/dev/ttyUSB1',
        baudrate = 9600,
        parity = serial.PARITY_NONE,
        stopbits = serial.STOPBITS_ONE,
        bytesize=serial.EIGHTBITS,
        timeout=0.5 )
ser.flushInput()
ser.flushOutput()
print("USB CONECTADO")

##### IDENTIFICACION #####
print("Solicitando Identificacion")
identif=bytearray(b'\xaa\x00\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20') #datos a enviar de servicio de identificacion
ser.write(identif) #enviar dato al modidor
rpt_ack=ser.read(1)

if len(rpt_ack) > 0: #si no recibe nada el puerto envia a caso else
    respuesta_20=bytearray(ser.readline())
    #print(respuesta_20)
    respuesta_20_int=struct.unpack(">BBBBBBBB", respuesta_20)
    #print(respuesta_20_int)

    if respuesta_20_int[5]== 0 :
        print("Petición de Identificación aceptada")
    elif respuesta_20_int[5]==1:
        print("Error No previsto")
    elif respuesta_20_int[5]==6:
        print("Dispositivo Ocupado")
    elif respuesta_20_int[5]==10:
        print("Servicio Invalido")

    #definición del estándar a usar
    if respuesta_20_int[7]==0:
        print("LECTURA POR PUNTO SERVICIO")
    elif respuesta_20_int[7]==2:
        print("LECTURA VIA MODEM")
    elif respuesta_20_int[7]==3:
        print("LECTURA VIA LAN/ETHERNET")
    ser.write(ack)

##### NEGOCIACION #####
print("Solicitando Negociacion")
nego=bytearray(b'\xaa\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20\x20') #datos a enviar de servicio de negociacion
ser.write(nego) #enviar dato al modidor
rpt_ack1=ser.read(1)

if len(rpt_ack1)>0:
    respuesta_61=bytearray(ser.readline())
    respuesta_61_int=struct.unpack("BBBBBBBBBBBB", respuesta_61)
    #print(respuesta_61_int)
    print("Se utilizara 9600 bauds de velocidad para la transmision de los datos")
    print("Negociacion Aceptada")
else:
    print("Línea desconectado, revise e intente nuevamente")
    ser.close()
    ser.write(ack)

##### INICIO DE SESION- LOG ON #####
```

```

#####DATOS FIJOS NO DEPENDIENTES DEL MEDIDOR: ESTOS DATOS SON ESCRITOS MUALMENTE A LIBRETO DEL USUARIO###
# #####Datos del sistema de medicion#####
com_muestra_sensio=atr("481339")# Datos unico proporciono por Empresa Electrica
Tarifa=("Industrial")# Tarifa comercial, Industrial o residencial
Dir=("Fabrica de Cemento")# Fabrica de carnos, granja avico etc.
Direccion=("Avenida Quito y Rio Tumbi")# Direccion del equipo instalado
Posicion=("1707430004") #Puntos de Coordenadas UTM
Fac_Mult=rat(1) #Factor de multiplicacion para tarificacion
print("Identificacion Sistema:",com_muestra_sensio)
print("Tarifa:",Tarifa)
print("Dir:",Dir)
print("Direccion:",Direccion)
print("Posicion:", Posicion)
print("Factor de Multiplicacion:",Fac_Mult)# Afecta a la tarifa: este valor se multiplica por el consumo del medidor

#####-Datos Terceros de la Instalacion #####
#####Datos del Medidor e Instalacion#####
rang_volt=("120 - 480 V") # Rango de voltaje del medidor instalado
corr_ajus="20 A"# Corriente maxima que soporta el equipo
form_amb=("25")# Forma del Medidor
const_med=("1.8")# Constante del Medidor
consumo=("0") # Consumo mensual del medidor
tip_con=("Estrella - Estrella")# Tipo de Conexion con las UC's con Equipo
pensi=("0.5")#Pensio del Medidor
pot_trasn_us=("1000")#Potencia del Transformador del cliente
rel_to=("40") #Relacion del transformador de corriente
rel_tp=("5") #Relacion del transformador de Potencial(Voltaje)
el_med=("Individual")#Tipo de medicion respecta a individual
print("Rango de Voltaje:",rang_volt)
print("Corriente maxima soportada:",corr_ajus)
print("Forma del Medidor: ",form_med)
print("Constante del Medidor:",const_med)
print("Consumo del Medidor:",consumo)
print("Tipo de conexion UC's:",tip_con)
print("Pensio del Medidor:",pensi)
print("Potencia del Transformador del Cliente:",pot_trasn_us)
print("Relacion TC:",rel_to)
print("Relacion TP:",rel_tp)
print("Elemento de medicion:",el_med)

else :
    print("Error de comunicacion")

else:
    print("Linha desconectada,verice e tente novamente")
ser.close()

ser.write(b'')

##### LOGOFF#####
print("Corriente medida")
logoff=bytearray(b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00') #datos a enviar de logoff
ser.write(logoff) #enviar dato al medidor
ser.read()
ser.write(b'')

print("Desconectando")
logoff=bytearray(b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00') #datos a enviar de descononccion
ser.write(logoff) #enviar dato al medidor
ser.read()
print("Lectura Exitosa!")

else:
    print("Linha desconectada,verice e tente novamente")
ser.close()

except serial.SerialException:
    print("USB NO CONECTADO")

    elif respuesta_20_int[4]==0:
        print("Servicio Desalido")

#definicion del estándar a usar
if respuesta_20_int[7]==0:
    print("LECTURA POR PARALELO OPTICO")
elif respuesta_20_int[7]==2:
    print("LECTURA VIA WIRENET")
elif respuesta_20_int[7]==3:
    print("LECTURA VIA LAN/ETHERNET")
ser.write(b'')

# ##### INSTRUCCIONES#####
print("Solicitando Negociacion")
negp=bytearray(b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00') #datos a enviar de servicio de identificación
ser.write(negp) #enviar dato al medidor
sleep(0.3)
tpo_ack1=ser.read(1)

if len(rpt_ack1)>0:
    respuesta_61=bytearray(ser.read(1))

```



```

## POSICION 9 Y 10 SON COINCIDENTES NO SE TOMAN EN CUENTA

Atot_kw=int.from_bytes(tot_d[11],'little') #ENERGIA ACTIVA ENTREGADA total
Atot_kw=(Atot_kw/1000)*Fac_Mult
print("Total Energia Activa Tarifa A:",Atot_kw_,"kW-Del")
tabla23.write(str(Atot_kw_))
tabla23.write("\n")

Atot_kw=int.from_bytes(tot_d[22],'little') #ENERGIA ACTIVA ENTREGADA total
Atot_kw=(Atot_kw/1000)*Fac_Mult
print("Total Energia Activa Tarifa B:",Atot_kw_,"kW-Del")
tabla23.write(str(Atot_kw_))
tabla23.write("\n")

Ctot_kw=int.from_bytes(tot_d[33],'little') #ENERGIA ACTIVA ENTREGADA total
Ctot_kw=(Ctot_kw/1000)*Fac_Mult
print("Total Energia Activa Tarifa C:",Ctot_kw_,"kW-Del")
tabla23.write(str(Ctot_kw_))
tabla23.write("\n")

Dtot_kw=int.from_bytes(tot_d[44],'little') #ENERGIA ACTIVA ENTREGADA total
Dtot_kw=(Dtot_kw/1000)*Fac_Mult
print("Total Energia Activa Tarifa D:",Dtot_kw_,"kW-Del")
tabla23.write(str(Dtot_kw_))
tabla23.write("\n")
tabla23.close()

datos={"Hora Lectura":0,"kW-Del Total":0,"kVArh-Del Total":0,"Factor de Potencia":0,"Hora Demanda Maxima(Pe-Del)":0,
        "Total Demanda Armada(kw)":0,"Demanda Maxima(Pe-Del)":0,"Hora Demanda Maxima(kVArh-Del)":0,
        "Total Demanda Armada(kVArh)":0,"Demanda Maxima(kVArh-Del)":0,"kW-Del Tarifa A":0,
        "kW-Del Tarifa B":0,"kW-Del Tarifa C":0,"kW-Del Tarifa D":0}

client=qt5.Client()
client.setname_pw_ser(token)
client.connect(Proker,1983,60)
client.loop_start()

try:
    datos["Hora Lectura"]=str(horayfart)
    datos["kW-Del Total"]=tot_kw_
    datos["kVArh-Del Total"]=tot_kvar_
    datos["Factor de Potencia"]=tot_fp_
    datos["Hora Demanda Maxima(Pe-Del)"]=time1
    datos["Total Demanda Armada(kw)"]=tot_demanda_
    datos["Demanda Maxima(Pe-Del)"]=tot_demax_
    datos["Hora Demanda Maxima(kVArh-Del)"]=str(time2)
    datos["Total Demanda Armada(kVArh)"]=totkvar_demanda_
    datos["Demanda Maxima(kVArh-Del)"]=tot_demax_
    datos["kW-Del Tarifa A"]=Atot_kw_
    datos["kW-Del Tarifa B"]=Btot_kw_
    datos["kW-Del Tarifa C"]=Ctot_kw_
    datos["kW-Del Tarifa D"]=Dtot_kw_

    client.publish("vl/lectura/ta/telometry",json.dumps(datos),1)
    sleep(1)
    print("Señalando Datos")
except KeyboardInterrupt:
    pass
client.loop_stop()
client.disconnect()

##### LOGOFF#####
print("Cerrando sesion")
logoff=bytearray(b'\xaa\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00') #datos a enviar de logoff
ser.write(logoff) #enviar dato al medidor
ser.read()
ser.write(sock)

print("Desconectando")
logoff1=bytearray(b'\xaa\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00') #datos a enviar de desconexion
ser.write(logoff1) #enviar dato al medidor
ser.read()
print("Lectura Exitosa!")

else:
    print("Error de comunicacion, intente nuevamente")
    ser.close()

else:
    print("Error de comunicacion, no existe NEE intente nuevamente")
    ser.close()

else:
    print("Leche desconectado, revise e intente nuevamente")
    ser.close()

except serial.SerialException:
    print("COM NO CONECTADO")

```



```

pos3=Int(3+(4*c))
codeven=Int.From_bytes(tot_d1[pos3],"little") #Codigo Evento Numero
codeven_ =codeven
print("Codigo Evento:",codeven_)
tabla4c.write(str(codeven_))
tabla4c.write(",")

elif codeven==1:
    deven=("Apagado Primario")
    print(deven)
    tabla4c.write(deven)
    tabla4c.write("\n")

elif codeven==2:
    deven=("Encendido Primario")
    print(deven)
    tabla4c.write("Encendido Primario")
    tabla4c.write("\n")

elif codeven==3:
    deven=("Reloj Atrasado")
    print(deven)
    tabla4c.write("Reloj Cambiado Atrasado")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==4:
    deven=("Reloj Cambiado")
    print(deven)
    tabla4c.write("Reloj Cambiado")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==11:
    deven="Dispositivo Programado"
    print(deven)
    tabla4c.write("Dispositivo Programado")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==18:
    deven="Historial de eventos Borrado"
    print(deven)
    tabla4c.write("Historial de eventos Borrado")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==20:
    deven="Demanda Reiniciada"
    print(deven)
    tabla4c.write("Demanda Reiniciada")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==21:
    deven="Auto lectura"
    print(deven)
    tabla4c.write("Auto Lectura")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==25:
    deven="Auto lectura Realizada"
    print(deven)
    tabla4c.write("Auto Lectura")
    tabla4c.write("\n")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==27:
    deven="Cambio de Tarifa"
    print(deven)
    tabla4c.write("Auto Lectura")
    tabla4c.write("\n")

elif codeven==30:
    deven="Modo Medicion Iniciado"
    print(deven)
    tabla4c.write("Modo Medicion Iniciado")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==31:
    deven="Modo medicion Detenido"
    print(deven)
    tabla4c.write("Modo Medicion Detenido")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==38:
    deven="Error Auto comprobacion"
    print(deven)
    tabla4c.write("Error Auto comprobacion")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==42:
    deven="Error de Reloj"
    print(deven)
elif codeven==44:
    deven="Bateria Baja"
    print(deven)
    tabla4c.write("Bateria Baja")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==45:
    deven="Perdidas de Voltaje"
    print(deven)
    tabla4c.write("Perdidas de Voltaje")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==47:
    deven="Intento de Manipulacion"
    print(deven)
    tabla4c.write("Intento de manipulacion")
    tabla4c.write("\n")
elif codeven==48:
    deven="Retacion Inversa"
    print(deven)
    tabla4c.write("Retacion Inversa")

```

```

tabla4c.close()

datos={"Hora Evento":0,"EventoID":0,"Codigo Evento":0,"Usuario":0,"Evento":0}
client=mqtt.Client()
client.username_pw_set(token)
client.connect("broker,1883,60")
#client.loop_start()
try:
    datos["Hora Evento"]=time()
    datos["EventoID"]=mmsaven_
    datos["Codigo Evento"]=codeven_
    datos["Usuario"]=rp
    datos["Evento"]=deven
    client.publish("vl/devices/wr/telegram",json.dumps(datos),0)
    sleep(1)
    print("Se enviaron Datos")
except KeyboardInterrupt:
    pass
#client.loop_stop()
client.disconnect()
c=0-1

ser.write(b'c')
# //////////////////////////////////////////////////// LOGOFF ////////////////////////////////////
print("Cerrando session")
logoff=bytearray(b'\xaa\xaa\xaa\xaa\xaa\xaa\x12\x13\x14') #datos a enviar de logoff
ser.write(logoff) #enviar dato al modidor
ser.read()
ser.write(b'c')

print("Desconectando")
logoff2=bytearray(b'\xaa\xaa\xaa\xaa\xaa\xaa\x12\x13\x14') #datos a enviar de desconocion
ser.write(logoff2) #enviar dato al modidor
ser.read()
print("lectura Exitosa!")

else:
    print ("No existe fichero; Creado fichero "+"datos_eventos"+".csv")
    tabla4c=open("datos_eventos"+".csv","a")
    tabla4c.write("Hora Evento y Fecha Actual:FechaEvento:EventoID:Usuario:Realizado por:Evento:Descripcion\n")
    tabla4c.close()
    tabla4c=open("datos_eventos"+".csv","a")

    tabla4c.write(str(mmsaven))
    tabla4c.write(",")
    tabla4c.write(str(hora))
    tabla4c.write(",")

    print("datos recibidos")

    time_desc=struct.unpack("BBBBBB",tot_d[0]) #hora evento
    time=datetime.datetime.fromtimestamp(time_desc[0]+2000,time_desc[1],time_desc[2],time_desc[3],time_desc[4],time_desc[5])
    time1=time.strftime("%d %B %Y %H:%M:%S")
    print("Hora Evento: "+time1)
    tabla4c.write(str(time1))
    tabla4c.write(",")

    mmsaven=int.from_bytes(tot_d[1],"little") #Evento Usuario
    mmsaven_="mmsaven"
    print("EventoUsuario:"+mmsaven_)
    tabla4c.write(str(mmsaven_))
    tabla4c.write(",")

    idUser=int.from_bytes(tot_d[2],"little") #IDUsuario
    idUser_="idUser"
    idUser2=str(idUser_)
    print("Usuario ID:"+idUser_)
    tabla4c.write(str(idUser_))
    tabla4c.write(",")

    if idUser==0:
        rp=str("Modidor")
        print("Modidor")
        tabla4c.write("Modidor")
        tabla4c.write(",")
    else:
        rp=str(" Usuario"+idUser)
        print("Realizado por Usuario: "+idUser)
        tabla4c.write("Usuario "+idUser)
        tabla4c.write(",")

    codeven=int.from_bytes(tot_d[3],"little") #Codigo Evento Usuario
    codeven_="codeven"
    print("Codigo Evento:"+codeven_)
    tabla4c.write(str(codeven_))
    tabla4c.write(",")

    if codeven==1:
        deven="Apagado Primario"
        print(deven)
        tabla4c.write("Apagado Primario")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeven==2:
        deven="Encendido Primario")
        print(deven)

```

```

        tabla4c.write("Encendido Primario")
        tabla4c.write("\n")

    elif codeeven==3:
        deven="Bolo Atrassado"
        print(deven)
        tabla4c.write("Bolos Custiado Atrassado")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==4:
        deven="Bolo Custiado"
        print(deven)
        tabla4c.write("Bolo Custiado")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==11:
        deven="Dispositivo Programado"
        print(deven)
        tabla4c.write("Dispositivo Programado")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==18:
        print(deven)
        tabla4c.write("Historial de eventos Borrado")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==20:
        deven="Demanda Reiniciada"
        print(deven)
        tabla4c.write("Demanda Reiniciada")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==21:
        deven="Auto Lectura Georrida"
        print(deven)
        tabla4c.write("Auto Lectura")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==25:
        deven="Auto Lectura Realizada"
        print(deven)
        tabla4c.write("Auto Lectura")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==27:
        deven="Cambio de Tarifa"
        tabla4c.write("Cambio de Tarifa")
        tabla4c.write("\n")

    elif codeeven==30:
        deven="Modo Medicion Iniciado"
        print(deven)
        tabla4c.write("Modo Medicion Iniciado")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==31:
        deven="Modo medicion Detenido"
        print(deven)
        tabla4c.write("Modo Medicion Detenido")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==38:
        deven="Error Autoconprobacion"
        print(deven)
        tabla4c.write("Error Autoconprobacion")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==42:
        print(deven)
        tabla4c.write("Error de Bolo")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==44:
        deven="Bateria Baja"
        print(deven)
        tabla4c.write("Bateria Baja")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==45:
        deven="Perdidas de Voltaje"
        print(deven)
        tabla4c.write("Perdidas de Voltaje")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==47:
        deven="Intento de Manipulacion"
        print(deven)
        tabla4c.write("Intento de manipulacion")
        tabla4c.write("\n")
    elif codeeven==48:
        print(deven)
        tabla4c.write("Notas Inversas")
        tabla4c.write("\n")

        tabla4c.close()
        ser.write(ack)

        datos={"Hora Evento":0,"Evento":0,"Codigo Evento":0,"Módulo":0,"Evento":0}
        client=mgmt.Client()
        client.username_pw_set(token)
        client.connect(broker,1003,60)

        try:
            datos['Hora Evento']=time()
            datos['Evento']=codeeven_
            datos['Codigo Evento']=codeeven_
            datos['Módulo']=erp
            datos['Evento']=deven
            client.publish("v1/devices/mq/telemetry", json.dumps(datos),0)

```

```

        print("Subiendo Datos")
except KeyboardInterrupt:
    pass
#client.loop_stop()
client.disconnect()

# //////////////////////////////////// LOGOFF////////////////////////////////////
print("Cerrando sesion")
logoff-bytesarray(b'\xaa\x00\x20\x00\x00\x01\x32\x17\x20') #datos a enviar de logoff
ser.write(logoff) #enviar dato al medidor
ser.read()
ser.write(ack)

print("Desconectando")
logoff1-bytesarray(b'\xaa\x00\x00\x00\x00\x01\x21\x9a\x01') #datos a enviar de desconocion
ser.write(logoff1) #enviar dato al medidor
ser.read()
print("Lectura Exitosa!")

else:
    print("Error de comunicacion, intente nuevamente")
    ser.close()

else:
    print("Error de comunicacion, intente nuevamente")
    ser.close()

else:
    print("Lente desconectado, revise e intente nuevamente")
    ser.close()

except serial.SerialUtil.SerialException:
    print("USB NO CONECTADO")

```