



Superservicios
Superintendencia de Servicios
Públicos Domiciliarios

SERVICIOS DE CONSULTORÍA CON EL FIN DE DISEÑAR UN ESQUEMA DE VIGILANCIA DIFERENCIAL PARA LOS PRESTADORES DE ZONAS NO INTERCONECTADAS DENTRO DEL PROYECTO DE INVERSIÓN “INNOVACIÓN EN EL MONITOREO DE LOS PRESTADORES DE LOS SERVICIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS COMBUSTIBLE”

Especificaciones técnicas y protocolos de los equipos necesarios para la medición de la generación en la ZNI

DOCUMENTO No. AN-C-1136-03

USAENE

Bogotá D.C. 21 de diciembre de 2018

TABLA DE CONTENIDO

Glosario	5
1. Introducción	7
2. Resumen Ejecutivo	8
3. Especificaciones técnicas del equipo de medición	10
3.1 Requisitos de medición.....	11
3.2 Capacidad de almacenamiento de datos	12
3.3 Esquema de conexión	14
3.4 Sistema de alimentación.....	17
3.5 Especificaciones del contenedor.....	19
4. Especificaciones técnicas de la transmisión de datos	22
4.1 Requisitos de la transmisión de datos (frecuencia de envío, encriptación, datos: fecha, hora, energía activa)	23
4.2 Especificaciones técnicas de la comunicación satelital	24
4.3 Especificaciones técnicas de la comunicación a través de redes móviles.....	27
4.4 Especificaciones técnicas de otros canales de comunicaciones	31
5. Hoja de ruta para la implementación de telemetría en las ZNI	36
5.1 Plan Piloto	36
5.2 Implementación	37
Bibliografía.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Índice de clase de los medidores	12
Tabla 3-2. Grados de protección IP	20
Tabla 4-1. Comparativo Sistemas GEO y N GEO.	25
Tabla 4-2. Bandas de Frecuencias acorde E-UTRA.	29
Tabla 4-3. Resumen de Conectividad por Departamento.....	30
Tabla 4-4. Resumen de Conectividad Móvil en las Localidades.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3-1. Esquema propuesto de la solución	10
Fig. 3-2. Posible configuración de la solución	11
Fig. 3-3. Distribución de plantas diésel por potencia	11
Fig. 3-4. Ejemplo de mensaje formato JSON para potencia del Generador.	14
Fig. 3-5. Medición directa de un generador trifásico.....	15
Fig. 3-6. Medición directa de un generador monofásico.....	15
Fig. 3-7. Medición indirecta de un generador trifásico	16
Fig. 3-8. Medición indirecta de un generador monofásico	16
Fig. 3-9. Esquema de Alimentación del Sistema de Medición	18
Fig. 3-10, Esquema de Alimentación del Sistema de Medición sin Comunicación Satelital VSAT.....	19
Fig. 4-1. Arquitectura de Conectividad Física y Virtual.	22
Fig. 4-2. Tendencias de Tecnologías móviles.	27
Fig. 4-3. Distribución de Bandas de Frecuencias para Colombia.	28
Fig. 4-4. Relación cobertura respecto a la banda de frecuencias.	28
Fig. 4-5. Arquitectura LoRa.	32
Fig. 4-6. Arquitectura ZigBee.	33
Fig. 4-7. Configuración Frame de Datos 802.15.4.....	34
Fig. 4-8. Canalización de sistemas ZigBee Bandas 915 MHz y 2.4 GHz.....	34
Fig. 5-1. Implementación de telemetría	36

Glosario

AMI:	Por sus siglas en inglés, “Advanced Metering Information”, representa al grupo de sistemas con capacidad de medir, registrar, recolectar y transferir remotamente, la información asociada al consumo, la demanda, los parámetros eléctricos y la forma de uso de la energía eléctrica, para su posterior presentación, análisis, gestión y toma de decisiones. Un sistema AMI en general se compone de tres componentes principales: medidores inteligentes, redes de comunicaciones y el sistema de gestión de datos de medición.
CAPEX:	Inversiones de capital. Del inglés “Capital Expenditures” o inversiones de capital que una empresa realiza en bienes de equipos y redes, las cuales generan beneficios para la organización, ya sea por medio de la compra de nuevos activos fijos o por medio de un incremento en el valor de los activos fijos ya existentes.
C/N:	Carrier to Noise –por sus siglas en inglés-. Relación entre portadora y ruido en el ancho de banda total considerado.
CRC:	Comisión de Regulación de Comunicaciones - Colombia.
CREG:	Comisión de Regulación de Energía y Gas
dBW:	Unidad de Medida para Potencia en dB referida a 1 Vatio.
DCU:	Por sus siglas en inglés (Data Concentration Unit), que en forma común se conoce también como Gateway.
GPRS:	Por sus siglas en inglés “General Packet Radio Service”. Esta tecnología también se conoce como 2.5G ya que se encuentra entre 2G (GSM) y 3G (UMTS). Utiliza de 1 a 8 canales de radio con ancho de banda hasta de 200 KHz.
HSDPA:	Por sus siglas en inglés hace referencia a protocolos de alta velocidad para descarga en redes móviles (High Speed Downlink Protocol Access). También conocido como tecnología 3.5 G.
IMT	Por sus siglas en inglés (Sistema Internacional de Telecomunicaciones móviles). Especificaciones internacionales para sistemas móviles generados por la organización internacional de telecomunicaciones ITU. Específicamente IMT-2000.
ISM:	Por sus siglas en inglés “Industrial, Scientific and Medical” que son frecuencias de uso libre para aplicaciones Industriales, científicas y para Medicina. http://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013 .
ISO:	Por sus siglas en inglés hace referencia a la Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization, ISO).
IoT:	Por sus siglas en inglés (Internet of The Things), hace referencia a Internet de las cosas, que busca que los dispositivos físicos puedan ser interconectados entre sí y hacia las redes de Internet, para que puedan ser controlados o monitoreados desde cualquier parte del mundo.

LNB:	Por sus siglas en inglés, Low Noise Block. además de efectuar la función de un amplificador de bajo ruido, efectúa la función de Down Converter convirtiendo la señal de alta frecuencia recibida por la antena satelital al rango de frecuencias entre 950 – 2150 MHz.
LoRA:	Es una tecnología inalámbrica similar a las redes WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee, que utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia y opera en las frecuencias de 868 Mhz en Europa, 915 Mhz en América, y 433 Mhz en Asia.
LTE:	Por sus siglas en inglés “Long Term Evolution”, que hace referencia comercialmente a redes 4G LTE, que permiten más altas velocidades de acceso inalámbrico.
MINTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – Colombia.
MQTT:	Por sus siglas en inglés (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo de conectividad máquina a máquina (M2M) / "Internet of Things". Fue diseñado como un transporte de mensajería de publicación / suscripción extremadamente ligero.
OPEX:	Abreviación del idioma inglés por el término Operational Expenditures o los costos y gastos recurrentes necesarios para la operación de los servicios y productos que presta una compañía.
OSI:	Por sus siglas en inglés hace referencia al modelo de comunicaciones para interconexión de sistemas abiertos (Open Systems Interconnection).
PIRE:	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva o Potencia equivalente referida a una Antena Isotrópica.
PLC:	Por sus siglas en inglés “Power Line Carrier”, que consiste en transmisión de datos de telemetría a través de líneas eléctricas.
PRSTM:	Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones Móviles.
SSPD:	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SUI:	Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios
TIC:	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
WACC:	Costo de capital. Por sus siglas en inglés – “Weighted Average Cost of Capital” o “Costo ponderado promedio de capital”. Financieramente hablando, el WACC le reconoce al inversionista la rentabilidad que él / ella requiere por su participación en el proceso productivo.
Wi-SUN	Protocolo que utiliza el mismo estándar IEEE 802.15.4 que ZigBee y Thread para su fundación, con una red de área doméstica (HAN) y un protocolo de red de área de campo (FAN) más reciente. Con el enfoque en desarrollo en implementaciones de servicios públicos, parece que Zigbee se está moviendo para competir contra el protocolo Wi-SUN, que ya es popular entre los servicios públicos y es utilizado por gente como Silver Spring Networks. (SUN: IEEE 802.15.4g).
ZIGBEE:	Es un protocolo de acceso desarrollado por la IEEE que corresponde al standard IEEE 802.15.4 para permitir conectividad entre sensores en forma inalámbrica. Permite la utilización de frecuencias de uso libre en bandas como 2,4 GHz y 868/915 MHz (La Banda 900 MHz es la que aplica a Colombia, ya que 868 MHz aplica a países Europeos)

1. Introducción

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios actualmente es la entidad encargada de la vigilancia de la prestación del servicio de energía en las denominadas Zonas No Interconectadas ZNI de Colombia. Esta labor presenta grandes retos, en su mayoría técnicos en el área de telecomunicaciones, dado que el acceso a señal celular o internet en estas zonas es muy limitado, en ocasiones intermitente o nulo en la gran mayoría de los casos. El Centro Nacional de Monitoreo CNM, una entidad adscrita al IPSE, se encuentra realizando esta labor para menos del 5% de las localidades totales identificadas mediante una solución de telemetría satelital con un alto costo de instalación y operación para las localidades con más de 150 usuarios. En el caso de las localidades menores, actualmente se realiza un reporte telefónico diario donde se da cuenta del encendido de las plantas de generación, este reporte se realiza para cerca de 1.700 localidades.

La superintendencia en su labor de supervisión se encuentra interesada en desarrollar una solución con una precisión intermedia a las implementadas por el CNM y un costo moderado para realizar la supervisión del servicio de energía en estas zonas aisladas, las cuales no cuentan con información confiable para la entrega de subsidios. De allí nace el interés por el desarrollo de un estudio que busque la solución óptima de monitoreo y vigilancia para las cerca de 1.600 localidades consideradas por el ministerio de minas y energía como tipo 3 y 4 por contar con una cantidad de usuarios menor a 150.

En el primer informe se brindó un panorama general de las tecnologías de vigilancia usadas en otros países, de las cuales se entregó una variedad de tecnologías aplicables según su contexto nacional. Así mismo, se vislumbraron tecnologías como la radiofrecuencia en bandas libres como ZigBee y Lora para la comunicación entre localidades que no cuentan con acceso a redes móviles, permitiendo la creación de redes inalámbricas para concentración de datos a un nodo y enviar el reporte de las localidades conectadas a los nodos desde un solo punto ya sea vía red móvil o satelital, permitiendo la reducción en los costos de instalación y operación de los sistemas.

En el segundo entregable se presentan algunos equipos de medición concretos con algunas de sus características, así como lo que está establecido en la normatividad colombiana en materia de medición, no obstante, su mayoría está enfocada en el SIN. Conjuntamente se describe un componente el cual sería necesario para la generación del reporte tal cual lo especifica la SSPD, este es un dispositivo programable, el cual recibe la información del equipo medidor, genera el reporte y lo envía ya sea vía ZigBee para comunidades con posibilidades de establecer redes inalámbricas, vía móvil o satelital. Además, se realiza la revisión inicial de las localidades identificadas por la SSPD para establecer la cobertura de los diferentes sistemas de comunicación presentados en el territorio colombiano, ello de acuerdo con una priorización de alternativas disponibles, donde se prioriza la tecnología móvil y por último la tecnología satelital.

Este informe se encuentra más enfocado a temas relacionados con los equipos que componen la solución propuesta, el medidor y el sistema de comunicación. En este documento se tratan temas como las especificaciones técnicas de los elementos que lo componen, se describe su funcionamiento dependiendo de su configuración, así como, especificaciones técnicas de la transmisión de datos, las cuales influirán en aspectos como su alimentación y la definición de la hoja de ruta para su implementación en Colombia, el cual parte inicialmente con un proyecto piloto y priorización de alternativas según la ubicación de la localidad.

2. Resumen Ejecutivo

En este informe se ha adelantado lo referente a especificaciones técnicas y principales protocolos que deben seguir tanto los equipos de medición como los sistemas de conectividad.

Para los sistemas de medición se han analizado las tecnologías disponibles en el mercado y se han definido los requisitos mínimos que debe tener este equipo para cumplir con lo estipulado en la normativa colombiana. Considerando este dispositivo como el elemento fundamental del sistema, se han propuesto diferentes configuraciones de conexión y de procesamiento y transmisión de información. La elección de alternativas dependerá de las condiciones del generador eléctrico y del sitio en el que se vaya a instalar el equipo.

En este contexto, se presentan los requisitos que deben cumplir elementos tales como el contenedor, dispositivos de procesamiento de información, protecciones, batería, panel solar y otros elementos de conexión.

En cuanto las tecnologías que proporcionarían la conectividad a las localidades de ZNI se pudo establecer lo siguiente:

- a) Módulo de Conectividad Terrestre a través de Redes Móviles.
 - i. Bandas de Operación acorde a lo asignado por el MinTic a los actuales operadores en el país. Debido a que aún no ha sido asignada se plantea como opcional la Banda de 700 MHz APT.
 - ii. Tecnologías 2G, 3G o 4G guardando la neutralidad tecnológica, pero al mismo tiempo proyectando los posibles cambios o actualizaciones de las redes. La aplicación de tecnologías dependerá de la actual cobertura.
 - iii. Preferible que los módulos de comunicaciones cuenten con interface de RF para facilitar la conexión con los equipos de medición.
 - iv. Se plantean como interfaces de RF más probables: ZigBee y LoRa, teniendo en cuenta que presentan ecosistema más adecuado al objeto del proyecto. Aunque no se descartan otras alternativas.
 - v. GPRS se considera protocolo adecuado, teniendo en cuenta la baja velocidad promedio de transmisión de datos. Adicionalmente permite establecer enlace M2M o MQTT.
 - vi. Se deberá contar con plataforma de gestión que permita acceso WEB para descarga de información y configuración de Gateways.
- b) Módulo de Conectividad Satelital en Banda L.
 - i. Adicional a terminales VSAT se plantean terminales en Banda L debido a la facilidad de instalación.
 - ii. Las características de retardo dependerían si los terminales son para orbitas NGE0 o GEO.

- iii. Con base en la cobertura en las Américas Inmarsat es el único proveedor satelital GEO operando en Banda L.
- iv. Terminales para sistemas de constelaciones como Iridium, también es una alternativa viable.
- v. Se deberá contar con plataforma de gestión que permita acceso WEB para descarga de información y configuración de Gateways.

c) Módulo de Conectividad Satelital VSAT.

- i. Estas terminales fundamentalmente manejarán protocolo IP.
- ii. Se plantean estimativos de ancho de Banda agregado en MHz según la cantidad de localidades y frecuencia de envío de información para tecnología satelital VSAT.
- iii. Con base en la cobertura en las Américas Inmarsat es el único proveedor satelital GEO operando en Banda L.
- iv. Se prevé que el principal costo que afectará la utilización de esta tecnología será por el CAPEX del Terminal. Debido al bajo ancho de banda del segmento espacial requerido el OPEX en este sentido será muy bajo.
- v. Se deberá contar con plataforma de gestión que permita acceso WEB para descarga de información y configuración de Gateways.

Se anexan fichas técnicas de algunos equipos representativos de las principales tecnologías plateadas.

3. Especificaciones técnicas del equipo de medición

La resolución CREG 091 de 2007 establece que los medidores en la ZNI deben tener las siguientes funcionalidades:

- Registrar la producción horaria de energía con acumuladores mensuales
- Registrar niveles de voltaje
- Enviar la información generada

Adicional a estas, el artículo 5 del decreto 40072 de 2018 del Ministerio de Minas y Energía, propone que los equipos de medición inteligente tengan las siguientes funciones:

- Permitir el almacenamiento de datos
- Brindar soporte de comunicaciones de datos seguras
- Permitir la sincronización automática y remota de registros de tiempo
- Posibilitar la actualización y configuración local y remota
- Proporcionar información al usuario (en este caso al operador)
- Permitir la lectura local y remota de variables
- Soportar la medición horaria
- Permitir de forma remota y local la conexión y desconexión
- Facilitar la prevención y detección de fraudes
- Proporcionar medidas sobre la duración de indisponibilidades en el servicio

Con base en esta reglamentación se plantea el siguiente esquema de medición, donde las líneas azules indican señales de datos digitales y las rojas señales eléctricas.

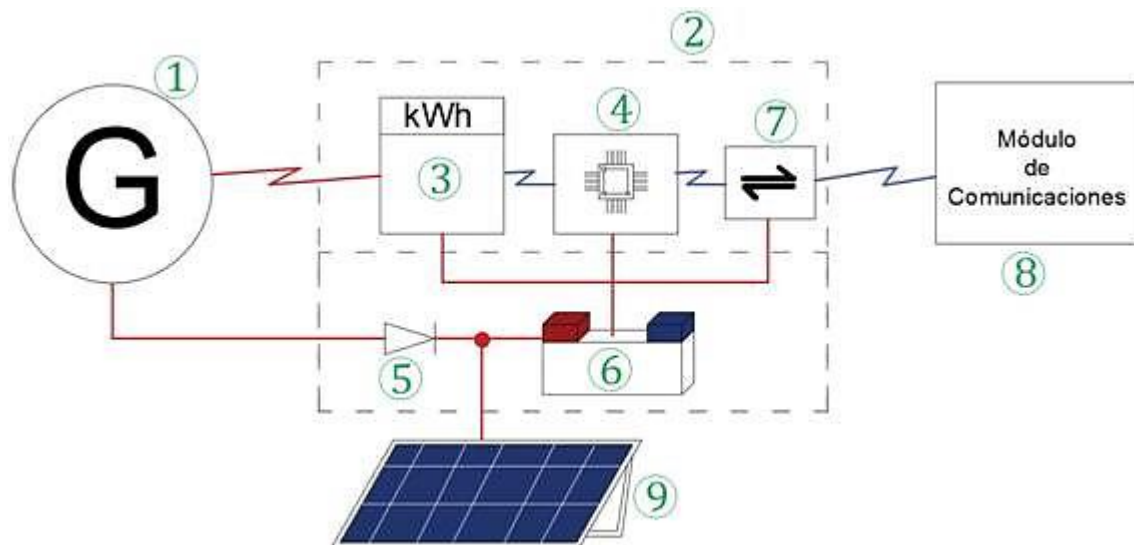


Fig. 3-1. Esquema propuesto de la solución

Los componentes básicos son los siguientes:

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Generador eléctrico | 6. Batería |
| 2. Contenedor IP65 | 7. Interfaz de telecomunicaciones |
| 3. Dispositivo de medición | 8. Antena y módulo de comunicaciones |
| 4. Unidad de procesamiento de datos | 9. Panel solar |

5. Rectificador/Regulador de voltaje

En el siguiente esquema se muestra como sería la posible configuración de equipos para el montaje en sitio

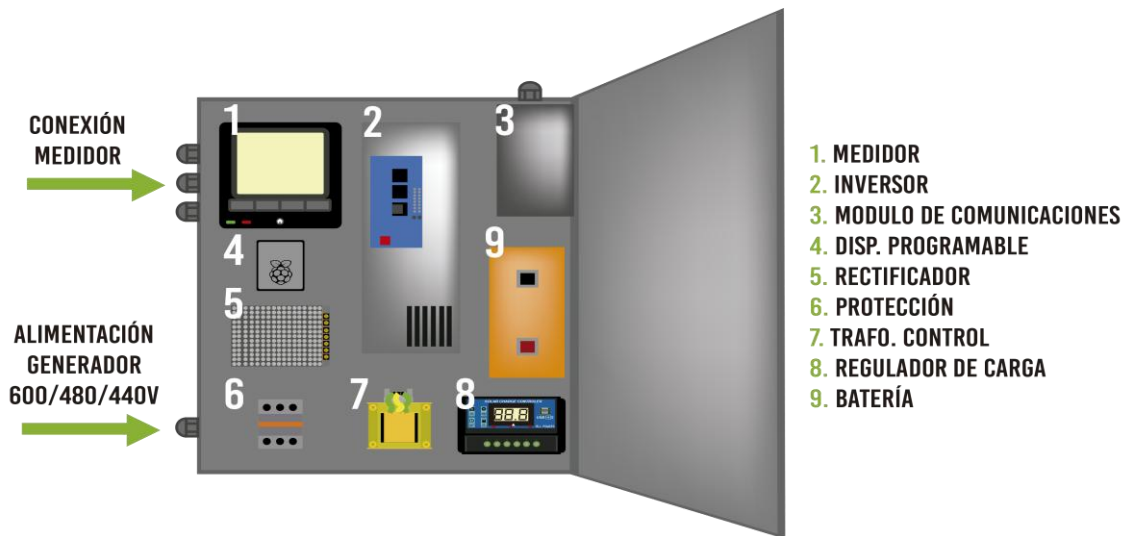


Fig. 3-2. Posible configuración de la solución

A continuación se describen los requisitos que debe cumplir el esquema propuesto.

3.1 Requisitos de medición

En el siguiente histograma se muestra la distribución de plantas actuales registradas en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI). Como se puede apreciar, la gran mayoría de plantas en las localidades tipo 3 y 4 son menores a 150 kW.

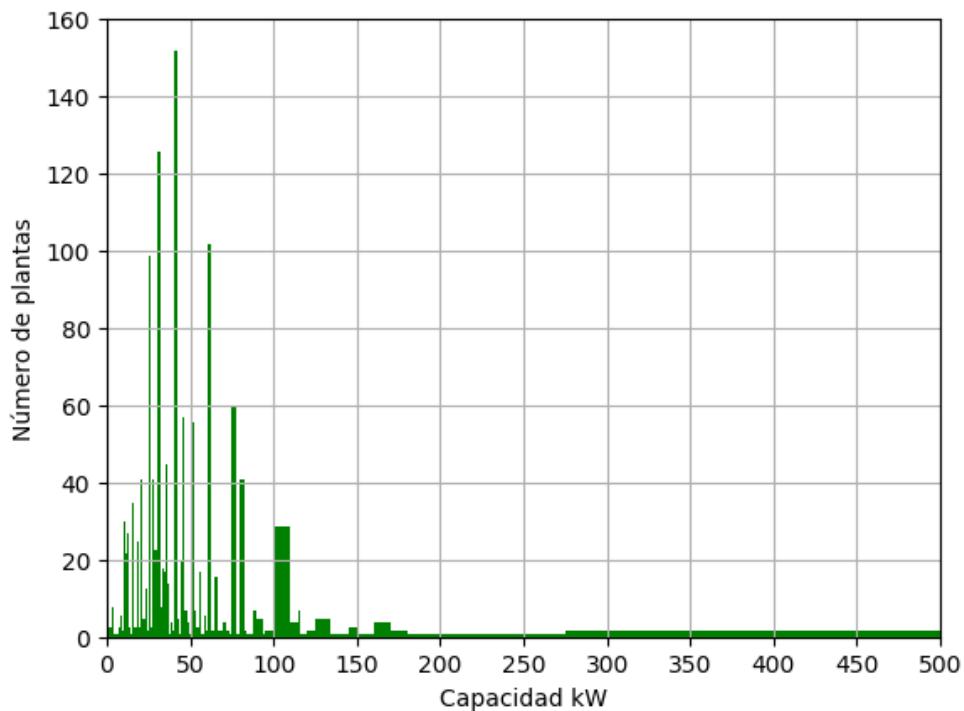


Fig. 3-3. Distribución de plantas diésel por potencia

De acuerdo con el código de medida CREG038 de 2014, el requisito de exactitud de los equipos depende de la potencia instalada y de la transferencia de energía mensual a través del medidor. En la siguiente tabla se presentan los índices de clase que deben tener los equipos.

Tabla 3-1. Índice de clase de los medidores
Fuente: CREG 038 de 2014

Transferencia [MWh-mes]	Capacidad instalada [MVA]	Medidor de energía activa	Medidor de energía reactiva	Transformador de corriente	Transformador de tensión
≥ 15.000	≥ 30	0,2S	2	0,2S	0,2
≥ 500	≥ 1	0,5S	2	0,5S	0,5
≥ 500	≥ 0,1	0,5S	2	0,5S	0,5
≥ 5	≥ 0,01	1	2	0,5	0,5
< 5	< 0,01	1 o 2	2 o 3		

Dado que la medición debe ser en las plantas de generación que en su mayoría son cercanas a 100 kVA, para estandarizar los componentes, el medidor de energía activa será mínimo de clase 0,5S, el medidor de energía reactiva clase 2 y en caso de que sean necesarios los transformadores de corriente deben ser mínimo clase 0,5S

3.2 Capacidad de almacenamiento de datos

En materia de almacenamiento de datos en medidores de energía eléctrica se aplican dos sistemas de almacenamiento de datos o información de medición, uno de ellos dispuesto directamente en el equipo de medición y el segundo ubicado en el lugar de procesamiento de la información, con el cual se comunica el equipo medidor y almacena gran parte de los datos de medición. En este aspecto es importante resaltar las características del equipo propuesto, dado que, esta configuración dista de un equipo de medición del mercado, debido a los requerimientos de la SSPD para la generación del reporte, más específicamente radica en la necesidad de contar con un dispositivo programable.

Normalmente los equipos de medición de energía eléctrica cuentan con una memoria interna que varía sustancialmente de un fabricante a otro y, en su mayoría, cuentan con una interfaz dispuesta a través de sus propios servidores los cuales entregan un reporte con una periodicidad configurable. Uno de los requerimientos de la SSPD en cuanto al reporte a ser entregado por el equipo medidor, será como mínimo un reporte diario que dé cuenta de la fecha y hora de encendido y apagado de los grupos electrógenos, la energía generada en cada hora de ese intervalo de tiempo que estuvieron entregando energía los generadores. Se entiende que generar un reporte diario facilita la comunicación de la información, no obstante, debido a que los medidores comerciales no cuentan con el ajuste de estos parámetros específicos para la configuración de los reportes, se requiere de un dispositivo programable el cual se comunica con el medidor, almacena la información, genera el reporte tal cual se requiere y lo envía ya sea vía radiofrecuencia a otro nodo, vía red móvil o vía satelital.

Entendiendo que es el dispositivo programable el equipo que almacena la información y genera el reporte. La comunicación se realizaría a este dispositivo y el requerimiento de almacenamiento de datos se destinaría a este equipo.

Como se mencionó anteriormente los medidores de energía eléctrica cuentan con dos sistemas de almacenamiento, algunos de ellos enfocados a realizar el almacenamiento de información fuera del dispositivo y otros que incluyen memoria interna para almacenamiento en sitio. Claramente aquellos que dependen de una infraestructura de comunicación y de otros dispositivos para almacenamiento de información cuentan con una memoria limitada que no supera los 100 kB. Por otro lado, aquellos que disponen de memoria interna cuentan con una capacidad de almacenamiento que puede llegar hasta los 2 GB en medidores que se encuentran actualmente en el mercado. Otros medidores, dado que el tamaño y periodicidad de su reporte se encuentra dentro de parámetros fijos, aseguran que cuentan con memoria suficiente para el almacenamiento de datos por un periodo mínimo de 10 a 20 años.

La normativa aplicable en materia de medición en el SIN, establece que el almacenamiento de datos de un medidor debe ser como mínimo de 30 días con intervalo de lecturas cada 60 minutos, incluyendo la etiqueta de tiempo. Además, se establece que en el Centro de Gestión de Medidas (CGM) se debe garantizar la integridad de las mediciones registradas y su disponibilidad por un periodo de al menos dos años contados a partir de la lectura. Claro está, que este último requerimiento hace referencia a una responsabilidad del representante de la frontera comercial.

No obstante, para el sistema de medición propuesto, estos requerimientos de almacenamiento de datos no establecen claramente la capacidad de la memoria del dispositivo de medición. Aquellos medidores que no cuentan con capacidad mínima de almacenamiento cuentan con algunos instructivos los cuales entregan un estimado de la capacidad que ocuparía cada registro de información. La capacidad requerida depende directamente del número de parámetros que se desean almacenar y la frecuencia con la que se almacenan, por ejemplo, la memoria requerida por reporte se establece de la siguiente manera:

$$\text{Memoria Requerida por Reporte (en Bytes)} = [(\text{número de parametros} \times 5) + 8]$$

Eso para el caso de datos simples, no obstante entrega una visión en cuanto al almacenamiento de información, por ejemplo, tres parámetros requieren de un almacenamiento por reporte de 23 Bytes. Dentro de los análisis realizados con los requerimientos del medidor actual se estima que por reporte se tendría una trama de datos de no más de 20 kB (teniendo en cuenta la cantidad de información requerida citada anteriormente). Para su almacenamiento en el medidor establecen 2GB de memoria en el dispositivo programable. Con estas especificaciones el dispositivo tendría la capacidad de almacenamiento de hasta 100.000 reportes con los requerimientos actuales y adicionalmente tendría memoria suficiente en caso tal de que con el tiempo se requiera de mayor cantidad de variables a analizar por localidad.

A modo de ejemplo, un mensaje en formato JSON puede necesitar aproximadamente 200 Bytes para una información correspondiente a la potencia del generador y el tiempo en que se registró el dato (timestamp¹). De esta forma reservando un máximo de 20 MB en el dispositivo local de procesamiento se podrían almacenar aproximadamente 100.000 mensajes por cada sitio. Esto también significaría que así esta información se almacene cada segundo, los datos almacenados corresponderían aproximadamente a más de un día.

¹ Este conteo comienza en la época del 1 de enero de 1970 en la UTC.

```

7 oct. 2018 10:15:10
{
  "state": {
    "desired": {
      «Generador": "on",
      «Potencia": 10000000,
      «Voltaje": 13000,
      «Corriente": 1000
    }
  },
  "metadata": {
    "desired": {
      "setlight": {
        "timestamp": 1538925313
      }
    }
  }
}

```

Fig. 3-4. Ejemplo de mensaje formato JSON para potencia del Generador.

En caso de utilizar un dispositivo como Raspberry Pi este puede utilizar una memoria microSD de 16 GB u 8 GB, el sistema operativo y aplicaciones principales utilizaría por el orden del 65% de la memoria quedando un 35 % de memoria disponible para almacenamiento y desarrollo de aplicaciones, que equivaldría algo más de 4 GB o 2GB respectivamente. Si se tiene en cuenta un máximo de tamaño por mensaje de 20 MB se podría almacenar aproximadamente 100,000 mensajes, lo que corresponde solamente a menos del 1 % de los 4 GB (valor de memoria típico disponible en un Raspberry).

3.3 Esquema de conexión

El objetivo del sistema de medición es vigilar la generación para asegurar que se están aprovechando los subsidios dados. Por tal motivo, y para simplificar la conexión, lo adecuado es conectar el equipo lo más cerca posible a los bornes de generación.

Dado que las plantas son en su mayoría de baja potencia es de esperar que el voltaje de salida sea menor a 600V. En este contexto, la conexión del equipo de medición será directa siempre que sea posible. La conexión puede variar según el número de fases de las plantas como se observa en los siguientes diagramas

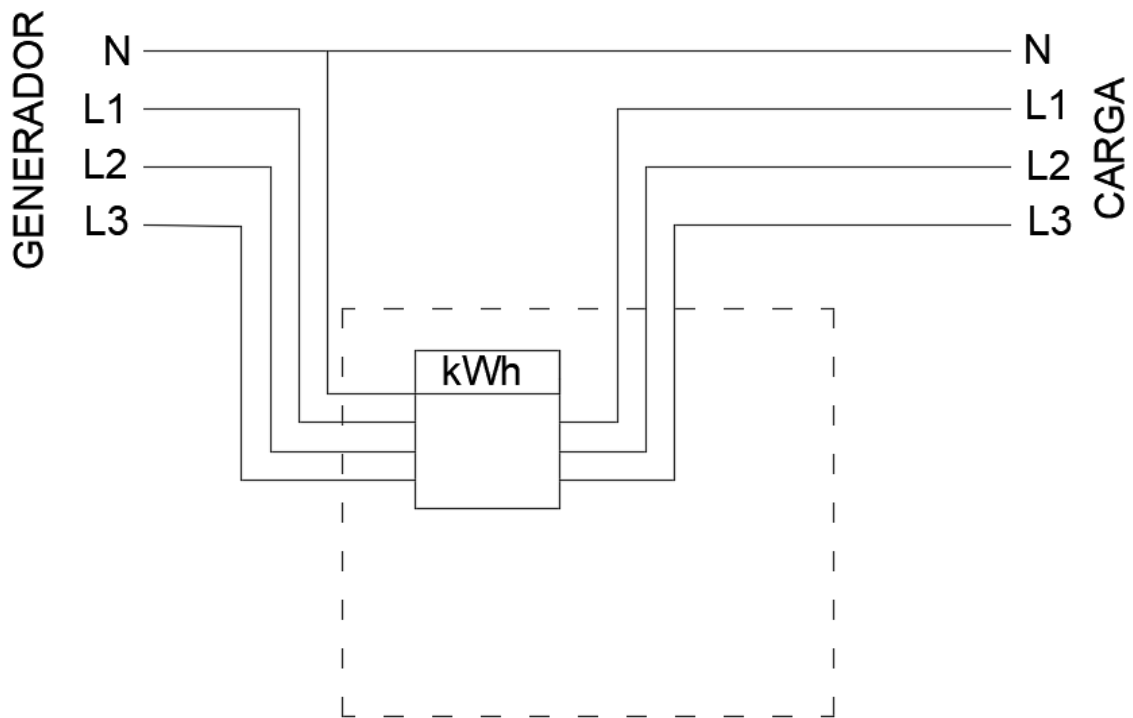


Fig. 3-5. Medición directa de un generador trifásico

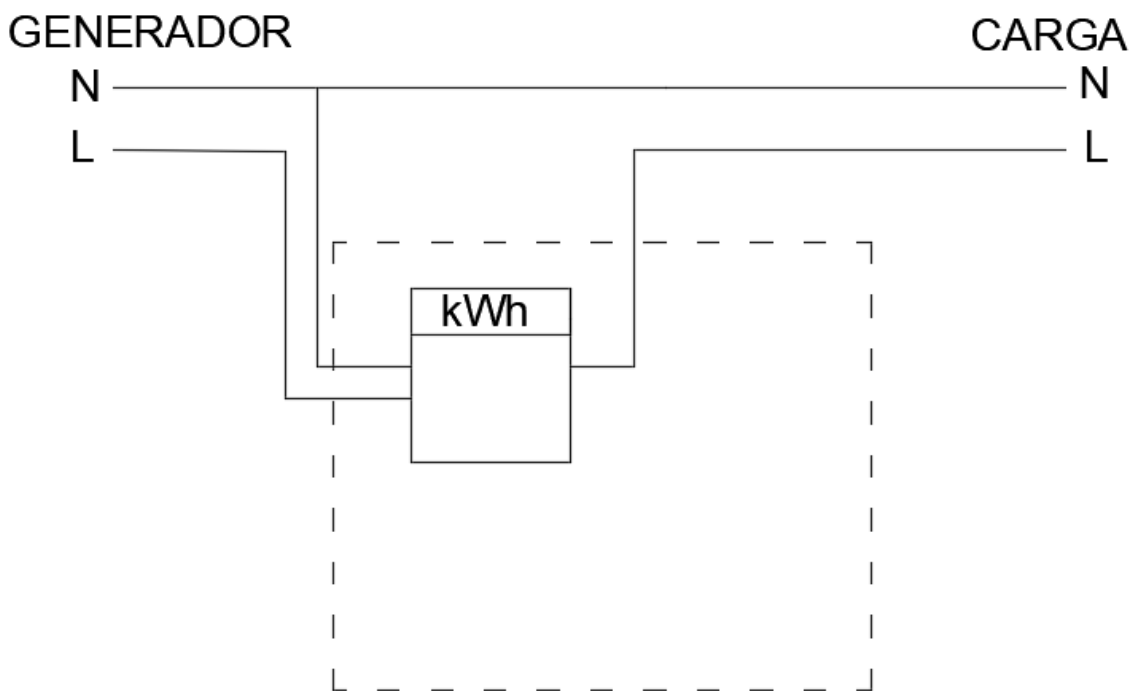


Fig. 3-6. Medición directa de un generador monofásico

Algunos equipos de medición soportan únicamente medición indirecta de corriente, en estos casos la conexión con los CTs será como se muestra a continuación.

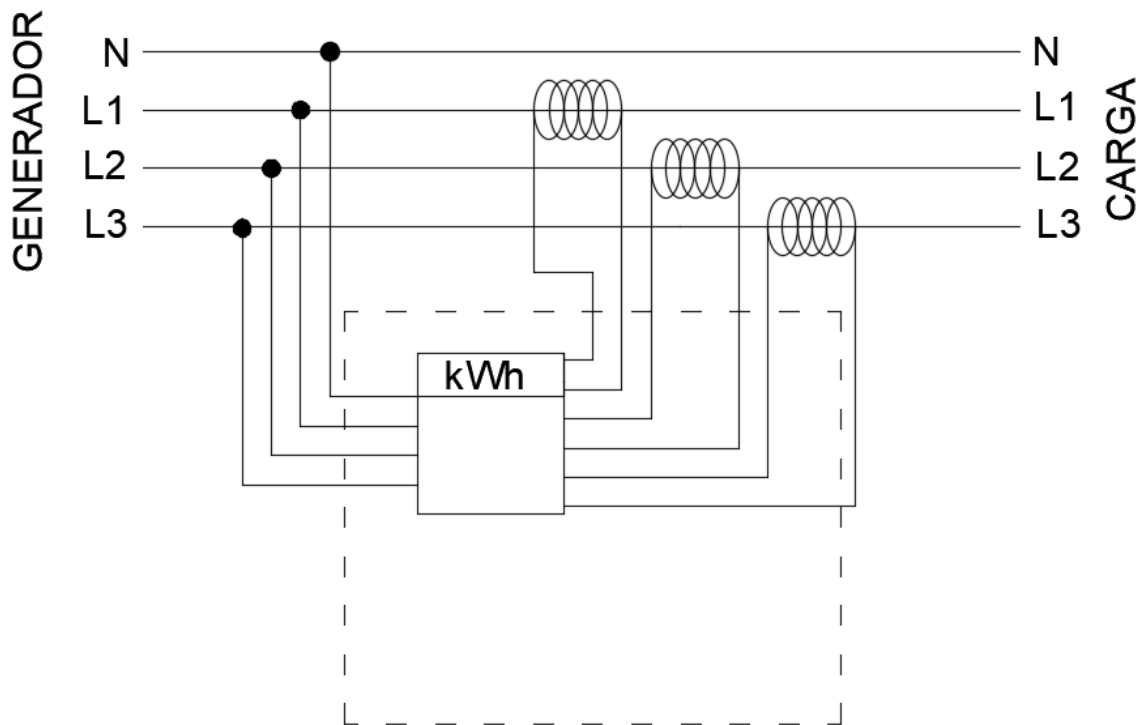


Fig. 3-7. Medición indirecta de un generador trifásico

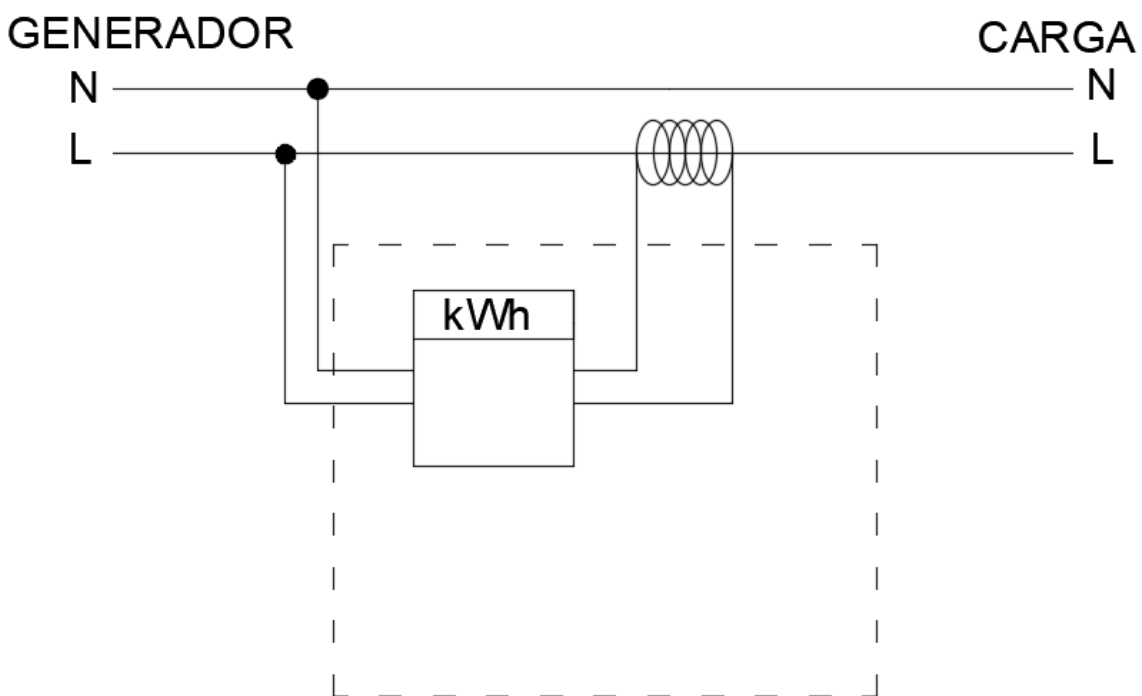


Fig. 3-8. Medición indirecta de un generador monofásico

Los elementos al interior de los contenedores estarán siempre energizados en DC, por lo que los medidores que se instalen deben tener la opción de alimentación independiente a la medición.

Es posible que, en algunos casos la tensión de operación de las plantas supere los niveles de tolerancia del equipo de medición. En estos casos será necesario evaluar puntualmente la instalación de un transformador de tensión y añadir un factor de conversión a los datos medidos.

3.4 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación del sistema de medición se puede apreciar en la Fig. 3-9, en ella se evidencia que, el esquema de alimentación del dispositivo proviene de 2 fuentes, la energía que entrega el generador diésel, la cual se encargará de cargar la batería del dispositivo y en caso de que este sistema de provisionamiento no sea confiable, se cuenta con un sistema solar fotovoltaico independiente para garantizar la autonomía del dispositivo. Ello le entrega la facultad al sistema de medición de generar reportes de la no entrega de energía a la localidad de manera permanente todos los días tal cual se requiere.

La tensión de operación del grupo o grupos electrógenos tiene gran incidencia sobre el sistema de alimentación, según trabajos desarrollados en grupos electrógenos de las ZNI (USAENE, 2013), las tensiones de los sistemas de generación varían de 220V a 440V y 480V AC. Ello es especialmente importante si se tiene en cuenta que el sistema de medición contempla la alimentación proveniente del grupo electrógeno. A continuación, se describe el sistema de alimentación para sistemas de 220V como tensión en bornes del generador, transferencia o sincronismo. En caso tal de que la tensión sea diferente, este requiere de un transformador ya sea 440/220V o 480/220 V según sea el caso, así mismo es importante resaltar que la potencia máxima del sistema de medición se estima en 150 W, esto hace referencia a una capacidad máxima de transformación de 160 VA, siendo el equipo de mayor consumo el sistema de comunicación VSAT.

El esquema de alimentación se presenta a continuación, en este caso se muestra como fuente de alimentación DC el panel solar, pero este alternará la alimentación con el grupo electrógeno el cual se conecta a un rectificador AC/DC de 220V/12V de un máximo de 100W. La tensión del sistema DC se estableció en 12V dado que en su mayoría los sistemas de comunicación y procesamiento operan a este voltaje y no es necesario el uso de convertidores adicionales. No obstante, ello requiere que, la tensión máxima en DC que puede ser entregada por el panel solar sea de 18V DC como parámetro del controlador de carga.

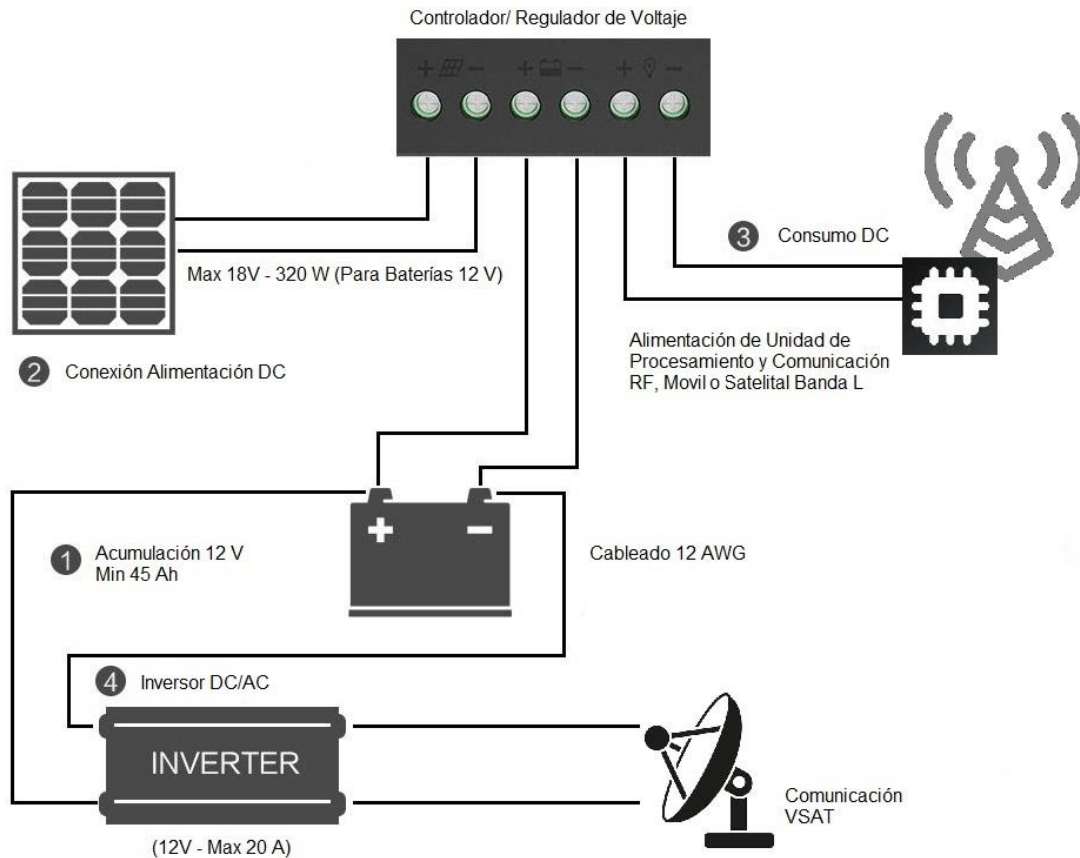


Fig. 3-9. Esquema de Alimentación del Sistema de Medición

Cabe resaltar que aún se está analizando la posibilidad de la implementación de tecnología satelital de Banda L, ello conllevaría a gran cantidad de beneficios económicos y técnicos dado que el sistema satelital de banda Ku requiere de mayor cantidad de energía para su operación cerca de 3 veces más, además de necesitar corriente alterna. Por ello en la imagen anterior se contempla un inversor de 150 W DC (Ver Fig. 3-10), de no requerirse inclusive se necesitaría menor potencia instalada en paneles solares, con lo cual se requeriría únicamente de un panel de 100 W.

El sistema de alimentación está diseñado para la carga de una batería de no menos de 45 Ah a 12V DC de descarga profunda de tecnología VRLA gel libre de mantenimiento. Si bien, las baterías de Ion Litio se conocen por brindar mayor seguridad, su costo duplica el valor de baterías VRLA gel y su tiempo de recambio es el mismo, por tanto, no se tuvieron en cuenta para esta aplicación. El almacenamiento de energía se calculó para una autonomía de 18 horas a plena carga de todos los dispositivos, en este caso el mayor consumo se encuentra en los sistemas de comunicación dado que varía de 4 a 10 W en reposo hasta 22 W para banda L y 80 W o más para VSAT. El medidor tiene un consumo no mayor a 5 W y la unidad de procesamiento de datos en su máxima potencia consume hasta 8 W. Este requerimiento de diseño se fijó teniendo en cuenta el peor caso al cual se enfrentaría el sistema de medición, donde se cargaría al día siguiente con un bajo requerimiento de radiación. En condiciones normales de trabajo, si las fuentes de alimentación se suspendieran, la autonomía en el caso VSAT sería de más de una semana y más de un mes en el caso móvil, RF o Satelital banda L.

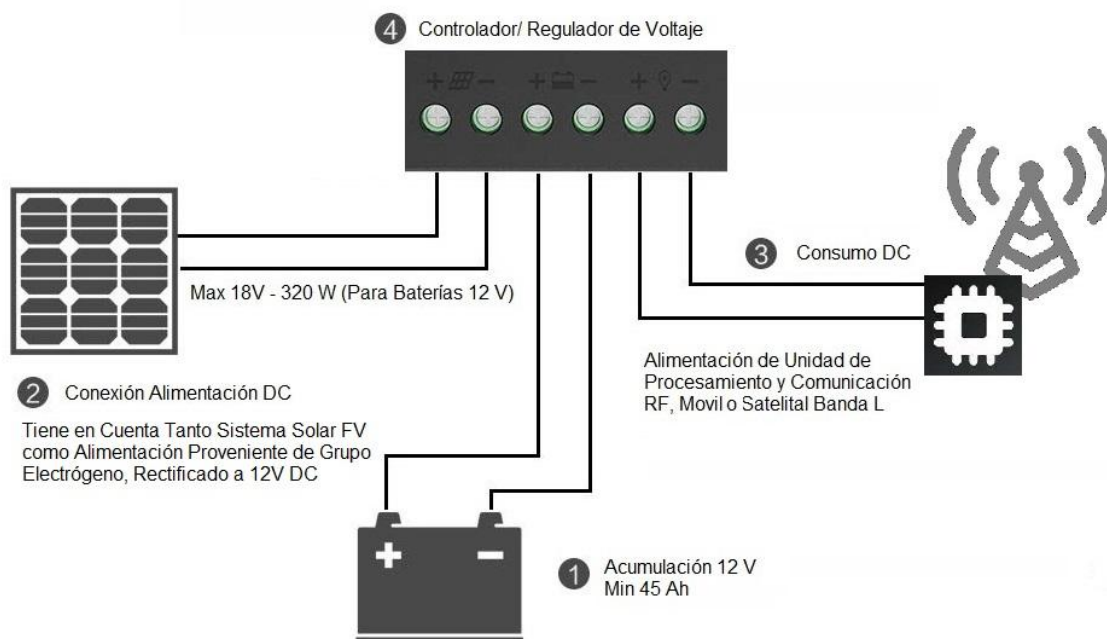


Fig. 3-10, Esquema de Alimentación del Sistema de Medición sin Comunicación Satelital VSAT

En cualquier caso, la capacidad máxima del regulador de voltaje no superaría los 20 A. Este dispositivo también se puede configurar a 24 V, con lo cual se establece una tensión máxima de entrada al regulador en DC de 36 V con una capacidad máxima en potencia de 430 W, lo cual puede integrar paneles solares más comerciales de 280 a 320 W con tensiones nominales de 36 V DC, no obstante la restricción se debe a los dispositivos conectados en DC. El regulador de voltaje a 12 V, restringe el voltaje de entrada en DC a 18V como máximo, dando cabida a paneles solares de aproximadamente 100 W cuyas tensiones de salida oscilan en 17,8 V DC y su corriente máxima no supera los 6 A. Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones en gran variedad de condiciones climáticas se sugiere que para sistemas VSAT se utilicen 2 paneles solares de 100W conectados en paralelo lo cual no entregaría más de 12 A de entrada al controlador de carga.

3.5 Especificaciones del contenedor

El estándar IEC 60529 (IP) describe un sistema de clasificación de contenedores para equipos eléctricos de acuerdo con el grado de protección que brindan. Los grados de protección son aplicables a cualquier equipo y gracias a la estandarización los fabricantes conocen con certeza las pruebas que deben soportar los contenedores para certificar que el equipo cumple con cierto grado de protección.

Este estándar IP está definido por dos números, el primero indica el grado de protección contra sólidos y el segundo contra líquidos. En la siguiente tabla se describen los valores que puede tomar el grado de protección.

Tabla 3-2. Grados de protección IP
Fuente: IEC-60529 y DIN-40050

Primer dígito: protección contra sólidos		
	Prueba	Descripción
0	No protegido	Sin protección ante el ingreso de objetos
1	Protegido contra objetos superiores a 50 mm	Protegido contra el ingreso de objetos grandes
2	Protegido contra objetos superiores a 12,5 mm	Protegido contra el ingreso de dedos o objetos de tamaño similar
3	Protegido contra objetos superiores a 2,5 mm	Protegido contra el ingreso de herramientas
4	Protegido contra objetos superiores a 1 mm	Protegido contra el ingreso de cables y objetos similares
5	Protección contra polvo	Se garantiza un ingreso de polvo mínimo, tal que no interfiera con la operación satisfactoria de los equipos
6	Protección contra polvo	Protección completa contra polvo
Segundo dígito: protección contra líquidos		
	Prueba	Descripción
0	No protegido	
1	Protegido contra goteos	Los goteos de agua verticales no tienen efectos dañinos sobre los equipos
2	Protegido contra goteos en direcciones de 15°	Los goteos de agua no tienen efectos dañinos incluso cuando el contenedor está inclinado 15° respecto de su posición original
3	Protegido contra spray	El agua en forma de spray no tiene efectos negativos sobre los equipos cuando llegan hasta a 60°
4	Protegido contra salpicaduras	Las salpicaduras de agua en cualquier dirección no tienen efectos negativos sobre los equipos
5	Protegido contra corrientes de agua	Las corrientes de agua desde toberas de 6,3mm en cualquier dirección no tienen efectos negativos sobre los equipos
6	Protegido contra corrientes de agua a presión	Las corrientes de agua desde toberas de 12,5mm en cualquier dirección no tienen efectos negativos sobre los equipos

6K	Protegido contra corrientes de agua a alta presión	Las corrientes de agua desde toberas de 6,3mm a alta presión no tienen efectos negativos sobre los equipos
7	Protegido contra inmersiones de hasta 1m	Protegido contra el ingreso de cantidades peligrosas de agua cuando el equipo está sumergido a menos de 1m
8	Protegido contra inmersiones de más de 1m	El equipo es apto para trabajar sumergido bajo las condiciones que establezca el fabricante
9K	Protegido contra corrientes de agua a altas temperaturas	Protegido contra corrientes de agua a alta temperatura desde distancias cercanas

El valor mínimo de IP que se permitirá para el contenedor de los equipos será IP65, que resultaría entonces en un equipo completamente protegido de material particulado y capaz de soportar corrientes de agua de baja presión desde cualquier dirección.

Adicionalmente existen letras que se adicionan al estándar IP para aclarar más propiedades de la protección de los equipos. Sin embargo, esta letra no será tomada en cuenta dentro de los requisitos debido a que diferentes normas cambian el significado de las letras. Por ejemplo, la norma IEC utiliza las letras A, B, C, D para indicar el riesgo eléctrico a personas, mientras que la norma DIN 40050-9 utiliza las letras D, f, H, M, S, W, K para especificar test adicionales que se hicieron al equipo.

Conjuntamente, dentro de la solución se contempla un sensor de final de carrera adaptado a la puerta del contenedor y cableado al dispositivo programable, de modo que el desarrollador pueda generar una alarma en caso de que sea abierto el contenedor. Estos sensores son de bajo voltaje y fáciles de instalar, por lo que se consideran como la solución más apropiada para identificar afectaciones a la integridad de los equipos.

4. Especificaciones técnicas de la transmisión de datos

El esquema de comunicaciones varía dependiendo de la tecnología a utilizar por localidad, no obstante, el esquema general se presenta en la siguiente figura. El módulo de comunicaciones si utiliza red celular como tecnología, debería estar instalado a una altura mínima de 5 metros con el fin de obtener la señal adecuada de funcionamiento. Al ubicarse a buena el altura, se podrá contar con la ventaja adicional de que si se dispone de interfaces de RF podría conectar adicionalmente otros sensores o medidores ubicados en el rango de cobertura.

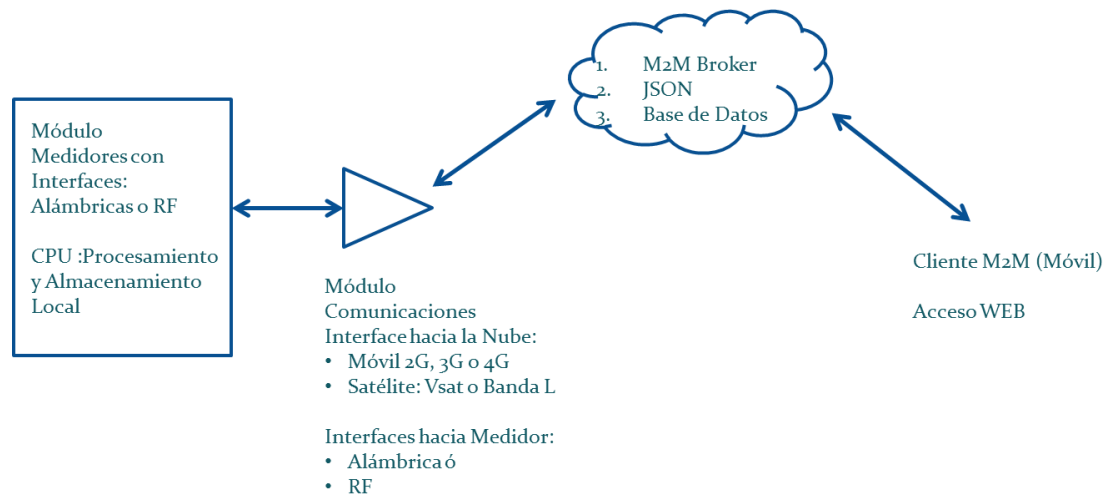


Fig. 4-1. Arquitectura de Conectividad Física y Virtual.

La conectividad entre el módulo de comunicaciones y el intermediario en la nube (Broker), para el caso de las localidades de las ZNI, lo más adecuado sería por tecnologías de redes móviles, satelitales (Vsat o M2M en Banda L) o RF para concentrar localidades que tengan línea de vista con un sitio que pueda tener conectividad.

Como proveedores de servicios para Broker MQTT entre otros se pueden mencionar:

- AWS
- IBM
- Microsoft Azure

Como se verá en las especificaciones de algunos proveedores de equipos de comunicaciones para M2M, dentro de los servicios ofrecen el acceso a los Gateway a través de portales WEB http / https, tanto para configuración como acceso de datos, siendo transparente el Broker MQTT. Para el acceso WEB o móvil se requiere solamente configurar un usuario y respectiva clave.

De todas formas como se podrá contar con una unidad de procesamiento en el módulo de medición, en forma transparente un tercero podría realizar una integración de todos los sistemas de medición y vigilancia, a través de cualquier bróker y con una plataforma de gestión única y propia para el operador del sistema.

4.1 Requisitos de la transmisión de datos (frecuencia de envío, encriptación, datos: fecha, hora, energía activa)

A continuación en forma breve se revisarán los principales aspectos a tener en cuenta para el dimensionamiento y/o especificaciones de velocidad de conectividad entre las localidades de ZNI y el servidor que pueda proporcionar la información de datos almacenados.

Aunque los fabricantes de equipos de concentración de datos (Gateways) que tienen interfaces de conectividad a través de redes móviles o satelitales, proporcionan acceso vía portales WEB y/o dispositivos con Android o IOs, lo que plantea esta consultoría (para definir la ingeniería de detalle en una fase posterior), es que un tercero realice la integración de Gateways, defina el broker y proporcione las características de acceso con la seguridad adecuada para el servidor de almacenamiento de datos.

Los principales requerimientos para definir las velocidades son:

- Protocolo de manejo de datos propios de telemetría con los requerimientos adecuados de seguridad.
- Protocolo de transmisión de datos según la red soportada. TCP/IP, GPRS, ZigBee, etc.
- Tipo de información enviada. Cantidad de datos de telemetría según sensores conectados y tipo de datos por sensor. Esto básicamente correspondería a la "carga útil".

Protocolos IoT y Telemetría sobre IP

MQTT² es el protocolo que por sus características lo hace ideal para "máquina a máquina" (M2M), telemetría o "Internet de las cosas –IoT-", a través de redes móviles y por satélite donde el ancho de banda y el consumo de energía son muy importantes, para la sostenibilidad del proyecto.

En cuanto seguridad en este protocolo se puede pasar un nombre de usuario y una contraseña con un paquete MQTT en V3.1³. El cifrado en la red se puede manejar con SSL, independientemente del propio protocolo MQTT (lo que agrega una sobrecarga de datos, significativa). Se puede agregar seguridad adicional mediante encriptación de datos, pero esto no es algo incorporado al protocolo. Bajo protocolo TCP/IP el puerto 8883 está registrado para uso de MQTT sobre SSL.

Para protocolos M2M, independiente del envío de "carga útil" es necesario mantener la conectividad a través de "keep alive" que típicamente se configura para transmitirse cada 60 segundos. Para este fin se requieren aproximadamente 30 bytes / minuto.

Si estimamos que cada mensaje tiene una carga útil de 200 bytes y adicional 30 bytes de over head, se tendrían hasta el momento 230 bytes requeridos para transmitir un mensaje completo bajo protocolo MQTT, sin tener en cuenta bytes adicionales de seguridad sobre SSL.

El protocolo IP mínimo requiere 20 bytes de encabezamiento, luego se estaría hablando de 250 bytes mínimos requeridos para transmisión de un mensaje M2M sobre IP.

² <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-protocol-messages-overview/> MQTT significa MQ Telemetry Transport. Es un protocolo de mensajería de publicación / suscripción, extremadamente simple y liviano, diseñado para dispositivos restringidos y redes de bajo ancho de banda, de alta latencia o poco confiables. Los principios de diseño son minimizar el ancho de banda de la red y los requisitos de recursos del dispositivo, al mismo tiempo que intentan garantizar la confiabilidad y cierto grado de seguridad de la entrega.

³ MQTT.ORG, Frequently Asked Questions, 2018, <http://mqtt.org/faq>.

La frecuencia de envío de datos tiene principal afectación en lo referente al consumo mensual de datos, que a su vez tanto para conectividad por satélite como a través de redes móviles es lo que va a afectar los costos recurrentes mensuales (OPEX).

4.2 Especificaciones técnicas de la comunicación satelital

Generalidades Sistemas Satelitales

Según el tipo de órbita los sistemas satelitales se pueden clasificar:

- Órbita LEO (0 – 2000 Kms).
- Órbita MEO (2000 – menor de 36000 Kms)
- Órbita GEO (36000) y

La órbita GEO, tiene la propiedad que un satélite que se encuentre en este tipo de órbita gira exactamente a la misma velocidad de rotación de la tierra (órbita síncrona), en consecuencia la posición aparente del satélite va a ser siempre la misma respecto a un mismo punto en la superficie terrestre. Para aplicaciones utilizando este tipo de satélites, presenta la ventaja que las antenas terrestres tienen apuntamiento fijo y pueden ser de considerable ganancia⁴. También por otro lado se puede considerar cierta desventaja la gran distancia respecto a la superficie terrestre (36000 Kms valor promedio típico considerado), la cual ocasiona grandes pérdidas de propagación en espacio libre, que ocasiona que los niveles de señal recibidos sean comparables al ruido térmico.

Para el caso de satélites de órbitas LEO y MEO, estos son asincrónicos y en consecuencia para proporcionar servicio a determinada región de la tierra se requieren varios para garantizar un continuo servicio, adicionalmente para el caso de servicios que requieran antenas no omnidireccionales en tierra, estas debe garantizar el seguimiento de los satélites ya sea en forma mecánica o mediante arreglo de antenas para seguimiento electrónico.

Un servicio muy importante en la actualidad que corresponde a satélites que se encuentra en órbita MEO, es el utilizado para posicionamiento global ó GPS, que consisten de por lo menos 24 satélites operando a una altitud aproximada de 20200 kms de distancia⁵.

Bandas de Frecuencias utilizadas por satélites.

Las principales bandas del espectro radio eléctrico utilizadas por los sistemas de satélites son⁶:

• L Band	1 – 2 GHz
• S Band	2 – 4 GHz
• C Band	4 – 8 GHz
• X Band	8 – 12 GHz
• K _u Band	12 – 18 GHz
• K Band	18 – 27 GHz
• K _a Band	27 – 40 GHz

⁴ En el caso de estaciones terrenas con antenas de gran diámetro (mayor ganancia) pueden requerir sistemas automáticos de posicionamiento para corregir pequeñas variaciones del cambio de posición del satélite. La ganancia de una antena de microondas es función de la frecuencia y su diámetro. Esto es típico en antenas terrestres para satélite utilizadas como tele puerto, en donde se busca que estas tengan buenas ganancias para obtener un mayor grado de disponibilidad de servicio.

⁵ GPS.GOV, Constellation Arrangement, 2018, <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

⁶ Según Radar IEEE Band designations. Antenna Theory Third Edition Balanis. 2005.

Se subrayan las últimas bandas y la Banda L, ya que en este documento se efectuarán análisis fundamentalmente en estas Bandas para los servicios M2M, que aplicarían a la transmisión de datos de telemetría para las ZNI.

Las condiciones normales para bandas más bajas, teniendo en cuenta la potencia específica de transmisión del downlink para cada satélite, es que se tenga menor densidad de flujo de potencia/m² (dBW/Hz/m²) en la superficie de la tierra, con el fin de prevenir interferencias en la operación de servicios fijos que operen en las mismas frecuencias. Por ejemplo en banda Ku y Ka (que serán analizadas en lo referente a VSAT en este proyecto) con un mismo diámetro de antena que en banda C, se podrá obtener mayor potencia de recepción. Esto aun teniendo en cuenta que en banda C, las pérdidas de propagación en espacio libre son menores respecto a las bandas Ku y Ka, pero por otra parte en las bandas altas se podrá tener mayor PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva), respecto a las bandas bajas.

Tabla 4-1. Comparativo Sistemas GEO y N GEO.

Parámetro	Satélites en Órbita LEO	Satélites en órbita GEO
Latencia	Ciertamente es menor el retardo con satélites en orbitas bajas debido a que están más cerca de la superficie terrestre. Esto puede ser ventajoso para algunas aplicaciones altamente interactivas como juegos y algunos sistemas de comercio electrónico de valores.	A pesar del retardo de propagación (aprox. 400 ms), no se convierte en una mayor preocupación aún para servicios de transporte para redes 4G/5G.
Cobertura	Debido a la proximidad de la tierra cada satélite de la constelación requiere menor potencia respecto a los satélites de órbita GEO. La cobertura por cada satélite es menor, pero el efecto combinado de la constelación de satélites la convierte en Cobertura Global. Los sistemas de satélites que operan en Banda L los hace muy adecuados para aplicaciones IoT y/o Telemetría.	Debido a la distancia requieren más potencia. Un solo satélite proporciona una gran cobertura. Aunque su costo individual es bastante mayor respecto a un solo satélite de órbita baja. No hay cobertura para casquetes polares.

Fuente: <http://www.intelsat.com/news/blog/leo-constellations-what-you-need-to-know/>

Como se presentó en el anterior informe con relación a la oferta para servicios de comunicaciones a través de satélites, no solamente es posible prestar servicios de telemetría M2M con sistemas GEO sino también con constelaciones de satélites N GEO. De igual forma también es posible prestar la conectividad satelital para estos servicios a través de terminales más sencillos que las estaciones VSAT.

Servicios BGAN⁷ Inmarsat

Inmarsat ofrece servicios para conectividad M2M operando en Banda L, en modalidad similar a la de operadores móviles. En términos generales un servicio satelital es

⁷ Por sus siglas en ingles Broad Band Global Area Network services.

equivalente a una radio base en órbita GEO o N GEO en donde el costo del servicio es proporcional al uso de datos e independiente de la velocidad de acceso.

Inmarsat a diferencia de la gran mayoría de empresas con satélites GEO, opera también en Banda L, lo que le permite un haz de tipo Global con la utilización de terminales de fácil instalación y adecuados para ser utilizaciones en aplicaciones IoT o de Telemetría.

BGAN es compatible con una gama de velocidades de transmisión de IP bajo demanda garantizadas desde 32 kbps hasta al menos 384 kbps, y hasta 450 kbps con BGAN X-Stream⁸.

Claro está los planes de datos, respecto a servicios de redes terrestres móviles son apreciablemente más costosos, pero como se analizará más adelante en la relación Costo – Beneficio, para las aplicaciones de telemetría en ZNI resultaría una opción bastante viable al controlar el consumo de datos y tener como objetivo que no se transmitan más de 6 MB / Mes / Terminal.

Servicios Iridium Orbitas N GEO

Iridium también ofrece servicios para conectividad M2M operando en Banda L, en modalidad similar a la de operadores móviles.

A diferencia de Inmarsat los terminales son más económicos, aproximadamente en relación 1:4. Respecto a inmarsat también se pueden tener planes de datos más económicos, y para las aplicaciones de telemetría en ZNI resultaría una opción también bastante viable.

Para servicios con Iridium⁹ se estaría hablando de planes de datos de por el orden de 30 KB / Mes, que es equivalente a transmitir solamente 1 KB / día. Que podría ser suficiente para las localidades más pequeñas de las ZNI, en donde sería suficiente transmitir un mensaje diario.

Servicios VSAT

Para el caso de VSAT el principal inconveniente se encuentra en el costo por terminal.

Sin embargo como el tema de costo se tratará más adelante por ahora se va a plantear los principales aspectos técnicos para determinar cómo se puede manejar los costos según las especificaciones de frecuencia de envío de mensajes y volúmenes de datos.

Para poder efectuar el estimativo de ancho de banda requerido total se plantea la siguiente ecuación.

$$BW \text{ (MHz)} = \frac{N * Datos \left(\frac{KB}{Mensaje} \right) * 8 * M \left(\frac{Mensajes}{hr} \right) * RollOff}{3600 * (Eficiencia Espectral \left(\frac{Bits}{Hz} \right) * 1000)}$$

Dónde:

N *Número Total de sitios.*

⁸ Inmarsat, BGAN, 2018, <https://www.inmarsat.com/service/bgan/>

⁹ Satphonestore, AIRTIME IridiumSDB, <http://www.satphonestore.com/tech-browsing/iridium-nav/iridium-sbd/airtime.html>

<i>Datos</i>	<i>Tamaño de cada Mensaje en kB.</i>
<i>M</i>	<i>Cantidad de Mensajes por hora.</i>
<i>Rolloff</i>	<i>Factor de Filtro</i>

La eficiencia espectral depende de las características de la modulación utilizada, corrección de errores FEC, G/T del satélite, en sistemas VSAT los valores pueden ir entre 0.5 Bps/Hz – 5 Bps/Hz. Valores alto implica antenas de mayor tamaño para mejorar la relación señal a ruido (C/N), para el Uplink implicaría también mayor potencia del terminal VSAT.

Para el caso que nos ocupa lo más recomendable sería utilizar bajas eficiencias espectrales con el fin de reducir requerimientos de potencia de transmisores y en algunos casos tamaño de antenas, debido a que en promedio se podrían manejar velocidades de transmisión de datos muy bajas.

Un ejercicio sencillo muestra que disponiendo de ancho de banda de 1 MHz, para un total de 1000 sitios, se podrían transmitir 4 mensajes por hora / sitio, teniendo cada mensaje 1 kB de tamaño.

4.3 Especificaciones técnicas de la comunicación a través de redes móviles

Aunque que como se presenta en el siguiente diagrama la tendencia de redes móviles es hacia redes 5G. A pesar que para el caso específico de este proyecto, a futuro podría tener impacto lo referente a NB-IoT, debemos partir de la situación actual de despliegue de tecnología móvil en el país, y eso sí buscar en lo posible que los equipos a utilizar permitan sin mayores costos adaptarse a las nuevas tendencias.

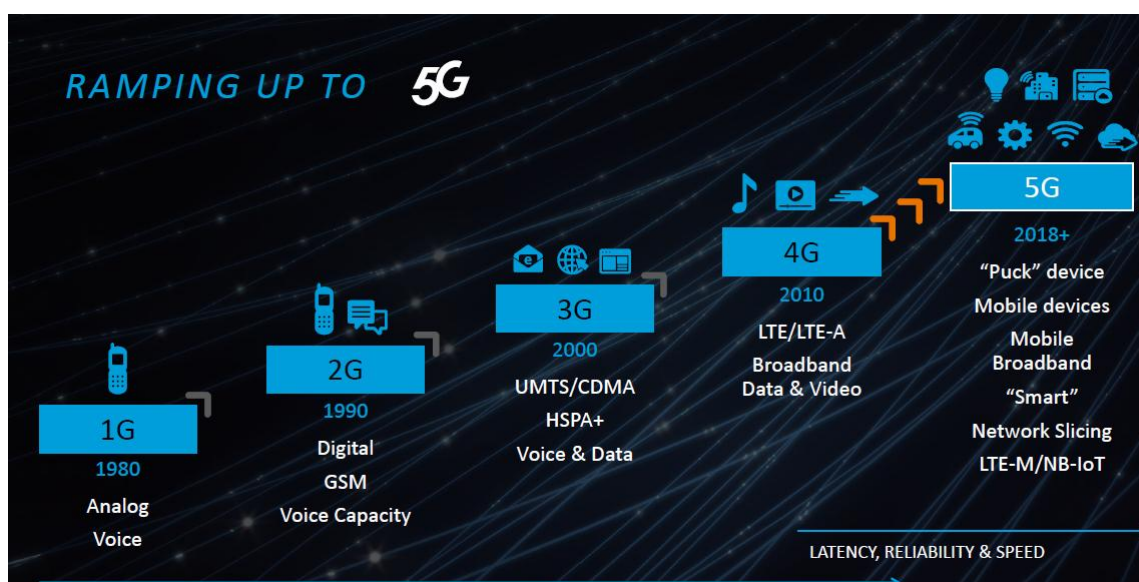


Fig. 4-2. Tendencias de Tecnologías móviles.
Fuente: IoT Webinar– Industry 4.0 Industry. IoT OPTIMISING with Mobile IoT.

Teniendo en cuenta lo anterior y como se había planteado en el anterior informe referente a cobertura de redes de comunicaciones en el país, en el caso de redes móviles se considerarán las tres tecnologías existentes y haciendo los comentarios respecto a las precauciones a tener por obsolescencia tecnológica.

Para el caso de la Banda APT de 700 MHz, a pesar que en el país todavía no se han empezado a realizar despliegues, en todo caso se considerarán equipos que 4G LTE que operen en esta Banda de tal forma que a futuro las localidades que puedan gozar de cobertura en esta Banda podrán obtener mejoras en el servicio.

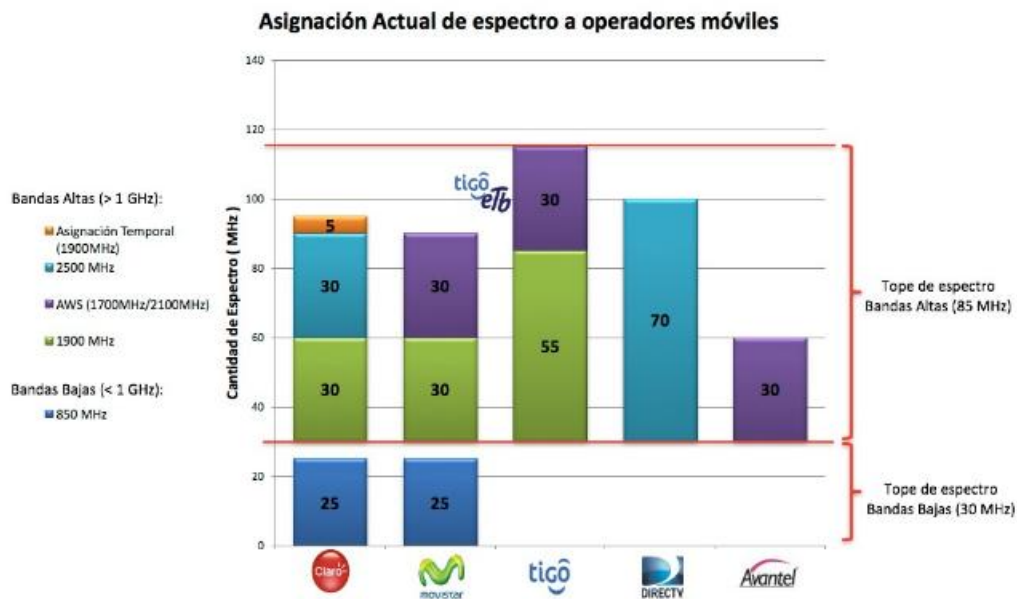


Fig. 4-3. Distribución de Bandas de Frecuencias para Colombia.

Con base en la información de la ANE, las bandas de frecuencias menores a 1 GHz en la actualidad solamente la tienen los operadores Claro y Movistar (como muestra la siguiente figura la relación cobertura respecto a frecuencias utilizadas), esto seguramente establecerá que estos dos serán los principales operadores que podrían proporcionar cobertura a las localidades de las ZNI.



Fig. 4-4. Relación cobertura respecto a la banda de frecuencias.

La arquitectura general para conectividad a través de redes móviles sería la de un módulo de comunicaciones con interfaces compatibles a las bandas de operadores

móviles en Colombia y por otro lado en el mismo módulo que tenga interfaces de RF que facilite la conectividad con los equipos de medición o sensores.

Lo anterior no quiere decir que no se considerarán, las alternativas con interfaces cableadas hacia los equipos de medición. De hecho en los anexos de especificaciones de equipos se presentan hojas de equipos con interfaces para Modbus.

Especificaciones de Equipos para Redes 2G

Para implementación de conectividad a través de nodos de comunicaciones que soporten redes 2G (GSM/GPRS), se deberá tener especial cuidado respecto a la evolución de las redes ya que por ejemplo, en los EE. UU., AT&T ya ha reasignado su ancho de banda. T-Mobile, el único otro proveedor de GSM en EE. UU. indicó que solo hasta 2020 mantendrá operativo la red GSM. Pero, por otro lado hay que tener en cuenta que aún hay millones de dispositivos GSM operando, y en consecuencia el plazo límite de mantener estas redes aún en Estados Unidos podría ser mayor.

Tabla 4-2. Bandas de Frecuencias acorde E-UTRA.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F _{UL_low}	F _{UL_high}	F _{DL_low}	F _{DL_high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6 ¹	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	716 MHz	729 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		FDD
16	Reserved		Reserved		FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
18	815 MHz	830 MHz	860 MHz	875 MHz	FDD
19	830 MHz	845 MHz	875 MHz	890 MHz	FDD
20	832 MHz	862 MHz	791 MHz	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	1462.9 MHz	1495.9 MHz	1510.9 MHz	FDD
...					
23	2000 MHz	2020 MHz	2180 MHz	2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	1660.5 MHz	1525 MHz	1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	1915 MHz	1930 MHz	1995 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	1920 MHz	1900 MHz	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	2025 MHz	2010 MHz	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	1910 MHz	1850 MHz	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	1990 MHz	1930 MHz	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	1930 MHz	1910 MHz	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	2620 MHz	2570 MHz	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	1920 MHz	1880 MHz	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	2400 MHz	2300 MHz	2400 MHz	TDD
41	2496 MHz	2690 MHz	2496 MHz	2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	3600 MHz	3400 MHz	3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	3800 MHz	3600 MHz	3800 MHz	TDD

Afortunadamente la mayoría de los equipos encontrados no solamente trabajan con redes GSM sino que también pueden hacerlo para redes 3G/UMTS en las mismas bandas de operación.

Para el caso de Colombia las principales Bandas de Frecuencia a utilizar corresponden a la banda 2 (también conocida como 1900 MHz) y Banda 5 (también conocida como banda de 850 MHz) para tecnologías 2G y 3G.

Para el Departamento del Chocó que predominaría la tecnología 2G dentro las tecnologías móviles, dadas las especificaciones de la principal cantidad de Gateway celulares, la implementación del contenedor para los equipos de comunicaciones no debería ser metálico ya que no permiten el uso de antena externa. En todo caso los niveles de recepción esperados podrían ser mejores a los establecidos a los mapas de cobertura de los operadores, si el equipo se ubica a una altura superior de 5 metros.

Sin embargo también se tienen soluciones aunque más costosas que permiten conectividad celular en 2G/3G y 4G, adicionalmente dentro del mismo módulo tienen interfaces de RF.

Tabla 4-3. Resumen de Conectividad por Departamento

DEPARTAMENTO	GSM	GSM/UMTS	LTE	RF_MOVIL	SATELITE	RF_SATELITE	RUTA ALTERNA
AMAZONAS	17	3	0	1	34	0	7
ANTIOQUIA	12	0	0	5	23	0	5
BOLÍVAR	0	0	0	0	0	0	0
CAQUETÁ	12	2	0	0	38	0	4
CASANARE	1	0	0	0	1	0	0
CAUCA	6	8	0	8	138	14	4
CHOCÓ	111	8	5	64	277	17	79
GUAINÍA	2	2	4	0	68	0	1
GUAVIARE	0	0	0	0	25	0	0
LA GUAJIRA	0	0	0	0	0	0	0
MAGDALENA	0	0	0	0	0	0	0
META	1	1	0	0	14	0	0
NARIÑO	76	77	0	116	283	30	101
PUTUMAYO	4	9	0	2	19	0	0
SAN ANDRÉS y PROVIDENCIA	0	0	0	0	0	0	0
VALLE DEL CAUCA	2	1	1	0	72	3	0
VAUPÉS	3	1	1	0	43	0	0
VICHADA	5	0	0	0	27	0	0
TOTALES	252	112	11	196	1062	64	201

Especificaciones de Equipos para Redes 3G/UMTS y 4GLTE

Para implementación de conectividad a través de nodos de comunicaciones que soporten redes 3G/UMTS y/o 4GLTE afortunadamente se encontraron gran variedad de equipos que proporcionan esta solución. El análisis se hace simultáneo ya que en la mayoría de especificaciones de equipos permiten manejar ambas tecnologías.

Se prevé la continuidad de ambas tecnologías (3G y 4G) por mayor cantidad de años que GSM, en consecuencia en los despliegues de conectividad por redes móviles se recomendaría dar prioridad a estas soluciones.

Como se presenta en la siguiente tabla en todo caso el total de soluciones utilizando tecnologías 3G/UMTS, 4GLTE y RF sería de 239 localidades de las cuales 74 tendrían ruta alterna.

Las redes del sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) basadas en el acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) se han implementado en todo el mundo como sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación. UMTS proporciona un camino evolutivo claro hacia el acceso a paquetes

de alta velocidad (HSPA). HSPA se refiere a la combinación de acceso de paquetes de enlace descendente de alta velocidad (HSDPA) y acceso de paquetes de enlace ascendente de alta velocidad (HSUPA). HSDPA permite velocidades de datos de hasta 14,4 Mbit / s en el enlace descendente. En algunos casos los equipos tendrán las especificaciones como HSPA+ o UMTS, pero todo se referirá a tecnología 3G.

Para el caso de LTE existen diferentes "categorías". Las categorías varían básicamente desde 0 y a medida que esta sube se tienen mayores velocidades, por ejemplo por el orden de hasta 150 Mbps. Para aplicaciones IoT se tiene comercialmente equipos en Categoría 1 que permiten velocidades 5.76 Mbps up y 21 Mbps Downlink¹⁰. Se tiene entonces que para aplicaciones M2M, se utilizan categorías bajas 0 o 1, que en ocasiones se conoce como categoría M

Tabla 4-4. Resumen de Conectividad Móvil en las Localidades

DEPARTAMENTO	GSM/UMTS	LTE	RF_MOVIL	ruta ALTERNA
AMAZONAS	3	0	0	2
ANTIOQUIA	0	0	0	0
BOLÍVAR	0	0	0	0
CAQUETÁ	2	0	0	0
CASANARE	0	0	0	0
CAUCA	8	0	5	3
CHOCÓ	8	5	11	10
GUAINÍA	2	4	0	1
GUAVIARE	0	0	0	0
LA GUAJIRA	0	0	0	0
MAGDALENA	0	0	0	0
META	1	0	0	0
NARIÑO	77	0	99	58
PUTUMAYO	9	0	1	0
SAN ANDRÉS y PROVIDENCIA	0	0	0	0
VALLE DEL CAUCA	1	1	0	0
VAUPÉS	1	1	0	0
VICHADA	0	0	0	0
TOTALES	112	11	116	74

4.4 Especificaciones técnicas de otros canales de comunicaciones

En cuanto a otros sistemas de comunicaciones que aplicaría mejor a este proyecto se tiene lo correspondiente a sistemas de RF ZigBee y Lora.

El término RF tiene un significado muy amplio, ya que aunque podría referirse a cualquier tipo de señal de Radio Frecuencia, en este estudio se referirá a las frecuencias de uso libre¹¹, que en la actualidad están teniendo gran despliegue para establecer comunicaciones entre dispositivos o comunicaciones M2M (Machine To Machine) o uso en Internet de las Cosas (IoT).

¹⁰ <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/gateways/connectportx4#specifications>. La velocidad real obtenida dependerá del operador y la ubicación del dispositivo.

¹¹ Espectro radio eléctrico que no requiere obtener permiso de la institución reguladora dependiendo de la región a la que pertenezca el país. No es necesario pagar ninguna contraprestación por su uso, pero en caso que se detecte interferencia el usuario no tiene ningún derecho de exigir la eliminación de la fuente interferente.

A pesar de la preocupación normal que pueda existir por el hecho de utilizar frecuencias de uso libre, las cuales podrían experimentar interferencias, su utilización sigue creciendo en IoT, tanto en aplicaciones para el hogar (Domótica) como para uso industrial.

En la actualidad entre otras se tienen las siguientes tecnologías para conectividad M2M, funcionando con frecuencias no-licenciadas:

- LoRa
- ZigBee
- Otras

LoRa:

LoRaWAN¹², basado en RF inalámbrico LoRa de Semtech IC, es el protocolo abierto de capa MAC definido y estandarizado por la LoRa Alliance. Opera en espectro sin licencia (902 MHz – 928 MHz para el caso de la Región a la que pertenece Colombia que es la misma de Estados Unidos y Canadá), permite largo alcance dependiendo de las condiciones de línea de vista y potencia, la comunicación bidireccional y la arquitectura de red es en estrella. Cada Gateway puede soportar independientemente decenas de miles de nodos sensores. Como en la mayoría de sistemas IoT se busca que los diseños de los módulos de RF manejen óptimamente el consumo de energía y de esta forma y extender la vida útil de la batería de los sensores conectados.

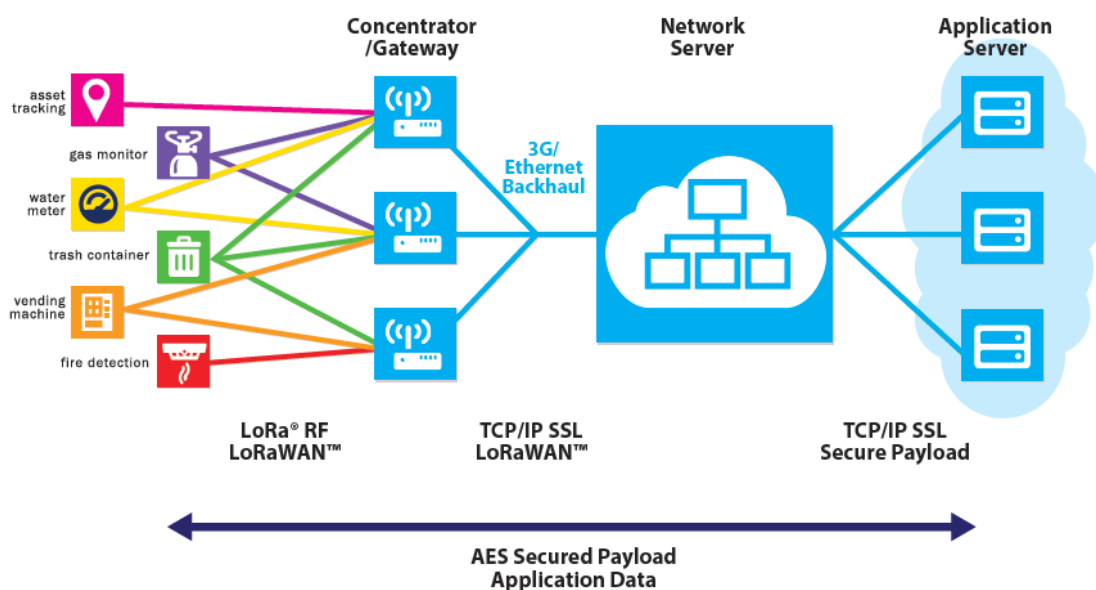


Fig. 4-5. Arquitectura LoRa.

Fuente: LoRa Technology: Ecosystem, Applications and Benefits. Published by Mobile World Live. 2017.

LoRa ya cuenta con más de 500 miembros y han estado operativos desde fines de marzo de 2015. Entre los miembros se incluyen líderes en tecnología como IBM, Cisco, HPconn, Foxconn, Semtech y Sagemcom, así como las principales empresas de productos como Schneider, Bosch, Diehl, y Mueller.

Es necesario tener cuidado con los planes de frecuencias que maneja esta tecnología ya que según el país así pertenezca a una misma región se presentan diferencias. En el caso de Colombia que pertenece a la misma región 2 de Estados Unidos y Canadá, son diferentes los planes de frecuencia dentro la misma Banda de 900 MHz

¹²LoRa Technology: Ecosystem, Applications and Benefits. Published by Mobile World Live. 2017.

Con base en la actual resolución 711 del 2,016 de la ANE que permite el uso de frecuencias libres entre 915 – 928 MHz, haría que el plan de frecuencias más adecuado para Colombia sería (el mismo pero de Australia): Uplink con el rango de frecuencias entre 915.2 MHz hasta 927.8 MHz y para el DownLink utiliza 8 canales en el rango entre 923.3 MHz hasta 927.5 MHz¹³.

El Protocolo de Seguridad de Red es basado en el estándar IEEE 802.15.4 con AES-128. Con mejoras al utilizar Clave de Sesión de Red (NwkSKey) y encriptación de contenido con Clave de Sesión de aplicativo (AppSKey).

ZigBee:

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas de bajo costo, muy bajo consumo de energía, bidireccional. El estándar ZigBee se puede aplicar en electrónica de consumo, automatización de edificios y casas (Domótica), controles industriales, periféricos de PC, aplicaciones médicas, y juegos.

ZigBee es basado en el estándar IEEE 802.15.4 para la capa física (PHY) y la subcapa de control de acceso (MAC) del medio.

La Alianza ZigBee define las capas superiores como son: la capa de red (NWK) y el marco de referencia a la capa de aplicación. La capa de aplicación consta de la subcapa de soporte (APS) y los objetos de dispositivo ZigBee (ZDO). Los objetos de aplicación definidos por el fabricante utilizan el marco de referencia y comparten APS y servicios de seguridad con el ZDO.

La capa de red ZigBee (NWK) es compatible con topologías de estrella, árbol y malla (que es una ventaja respecto a LoRa). En una topología en estrella, la red está controlada por un solo dispositivo llamado coordinador ZigBee. El coordinador de ZigBee es responsable de iniciar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos, conocidos como dispositivos finales, se comunican directamente con el coordinador de ZigBee.

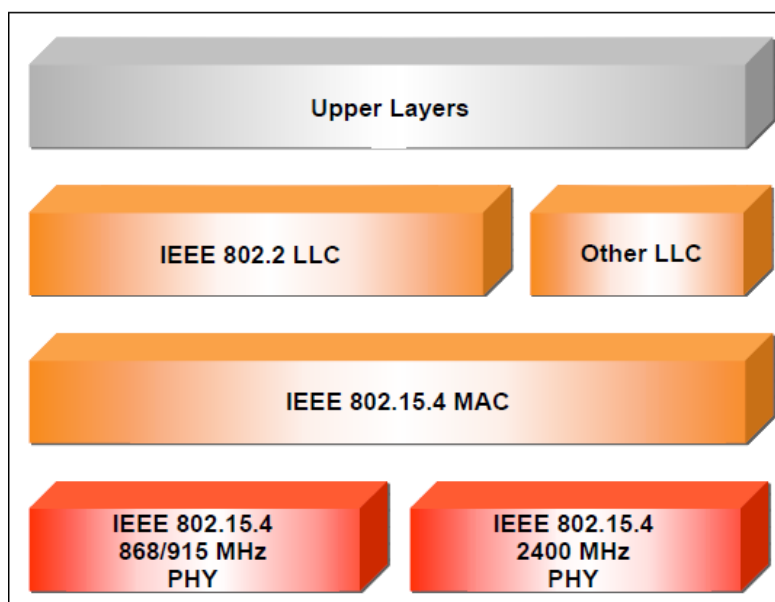


Fig. 4-6. Arquitectura ZigBee.

Fuente: IEEE Std. 802.15.4 Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks. Dr. José a. Gutierrez. Technology Manager. Embedded System and Communications Group. Innovation Center. 2005.

En las topologías de malla y de árbol, el coordinador de ZigBee es responsable de iniciar la red y de elegir ciertos parámetros clave de la red, pero la red puede ser

¹³ <https://lora-alliance.org/>. Los anchos de Banda pueden ser de 125 kHz o 500 kHz para el upstream. Y 500 kHz para el Downstream.

tendida mediante el uso de enrutadores ZigBee (cada nodo se puede comportar como un enrutador). En las redes de árbol, los enrutadores transfieren datos y controlan mensajes a través de la red utilizando una estrategia de enrutamiento jerárquico.

Las redes de malla permiten una comunicación completa de igual a igual. IEEE 802.15.4 describe solo las comunicaciones que comienzan y terminan dentro de la misma red.

La capa PHY opera en dos rangos de frecuencia separados: 868/915 MHz y 2.4 GHz. La capa PHY de frecuencias más bajas abarca tanto la banda europea de 868 MHz como la banda de 915 MHz, utilizada en países como Estados Unidos y Australia. La capa PHY de mayor frecuencia se utiliza prácticamente en todo el mundo.

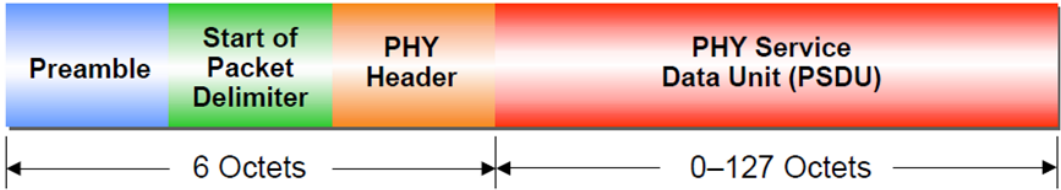


Fig. 4-7. Configuración Frame de Datos 802.15.4

Fuente: IEEE Std. 802.15.4 Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks. Dr. José a. Gutierrez. Technology Manager. Embedded System and Communications Group. Innovation Center. 2005.

Los sistemas ZigBee operando en las bandas de 915 MHz y 2400 MHz, como muestra la siguiente figura cumplen con lo establecido del ancho de banda y operan con los límites de potencia establecidos en la resolución 711 del 2,016 de la ANE



915 MHz Band	1	906	 Americas
	2	908	
	3	910	
	4	912	
	5	914	
	6	916	
	7	918	
	8	920	
	9	922	
	10	924	
2.4 GHz Band	11	2405	 World Wide
	12	2410	
	13	2415	
	14	2420	
	15	2425	
	16	2430	
	17	2435	
	18	2440	
	19	2445	
	20	2450	
	21	2455	
	22	2460	
	23	2465	
	24	2470	
	25	2475	
	26	2480	

Fig. 4-8. Canalización de sistemas ZigBee Bandas 915 MHz y 2.4 GHz.
Fuente: IEEE std. 802.14

En cuanto al rango de frecuencias libres en la banda de 900 MHz se podría sugerir a la ANE y al MinTic para ampliar la Atribución hasta que quedará igual a Estados

Unidos o Canadá desde 902 MHz a 928 MHz, es decir se adicionarían al menos 13 MHz respecto a lo que se tiene actualmente según resolución 711 del 2016 de la ANE.

En cuanto la Modulación utilizada y rangos de distancias posibles el consultor basado en información técnica de fabricante de tecnología ZgBee y estándar IEEE.802.15.4, se describen a continuación los principales aspectos:

- Modulación: Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK), con tecnología Spread spectrum (FHSS).
- Seguridad: Con encriptamiento AES-128 y opcionalmente AES- 256.
- Velocidad de Datos: Hasta 250 Kbps.
- Potencia de Transmisión: Hasta 30 dBm. Según fabricante normalmente se pueden configurar por software.
- Sensibilidad Receptor: De -103 dBm para 250 Kbps.
- Alcance en Distancia: Dependiendo de la Banda y potencia. Con línea de vista típico se podrían tener alcances de 14.5 Km¹⁴ en banda de 915 MHz, aunque según potencia y antena utilizada se podrían obtener alcances considerablemente mayores.

Un cálculo efectuado por el consultor indica que para distancias de 30 Km y utilizando los valores de límites de potencia según resolución 711¹⁵ de la ANE se obtendrían niveles de recepción de aproximadamente -90 dBm. Este cálculo se basa en la herramienta profesional pathloss que considera pérdidas adicionales de difracción de aproximadamente 10 dB.

Microwave Worksheet - 93-96.pl4

Elevation (m)	90.65	107.00
Latitude	03 46 18.91 S	03 48 24.80 S
Longitude	070 37 36.83 W	070 53 41.00 W
True azimuth (°)	262.59	82.60
Vertical angle (°)	-0.05	-0.15
Antenna height (m)	10.00	20.00
Antenna gain (dBi)	6.00	6.00
TX loss (dB)	0.00	0.00
RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	915.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	30.00	
Free space loss (dB)	121.24	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.15	
Diffraction loss (dB)	10.49	
Net path loss (dB)	119.87	119.87
TX power (watts)	1.00	1.00
TX power (dBm)	30.00	30.00
EIRP (dBm)	36.00	36.00
RX threshold level (dBm)	-103.00	-103.00
RX signal (dBm)	-89.87	-89.87
Thermal fade margin (dB)	13.13	13.13
Geoclimatic factor	3.50E-04	
Path inclination (mr)	0.88	
Average annual temperature (°C)	10.00	
Worst month - multipath (%)	99.56707	99.56707
(sec)	11377.45	11377.45
Annual - multipath (%)	99.89177	99.89177
(sec)	34132.34	34132.34

¹⁴ <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90001477.pdf>

¹⁵ Se podría utilizar un PIRE máximo de 36 dBm.

5. Hoja de ruta para la implementación de telemetría en las ZNI

La hoja de ruta para la implementación de telemetría en las Zonas No Interconectadas se puede dividir en dos partes. La primera será un plan piloto en el cual se pondrán a prueba todas las tecnologías de telecomunicaciones y la segunda parte será ampliar la cobertura optimizando las redes que se vayan instalando.

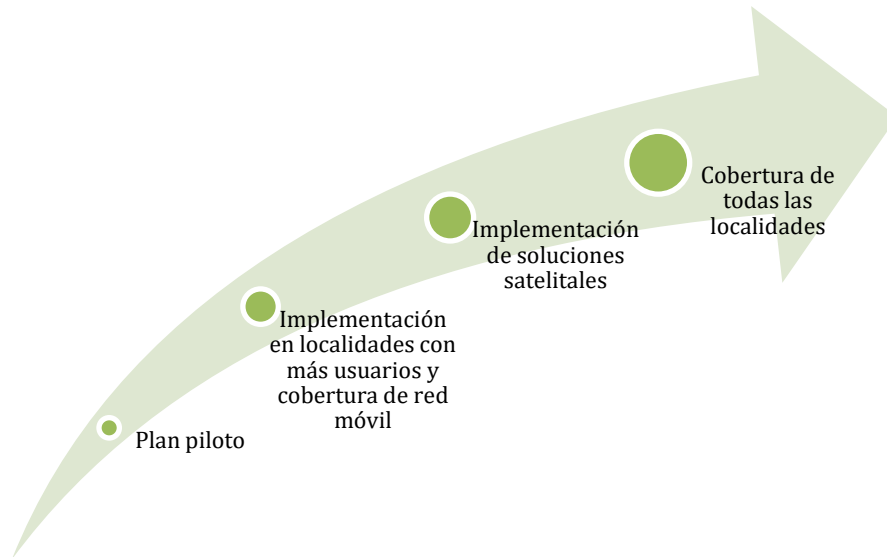


Fig. 5-1. Implementación de telemetría

5.1 Plan Piloto

En el plan piloto se plantea la instalación de equipos de medición en al menos 12 centros poblados. De modo que se puedan probar todas las tecnologías de telecomunicaciones.

- 3 localidades con comunicación satelital
- 3 localidades con comunicación a través de red móvil
- 3 localidades con comunicación en RF hasta puntos con red móvil
- 3 localidades con comunicación en RF hasta puntos con fibra óptica

Dentro de las localidades en las que se pruebe la comunicación a través de red móvil, será importante escoger algunas que tengan acceso a 4G, 3G y otras que solo tengan acceso a red 2G.

De ser posible, sería recomendable incluir en el plan piloto no sólo tres localidades con comunicación satelital, sino que sean tres con comunicación en banda Ka, tres en banda Ku y tres en banda L.

La duración del plan piloto deberá ser mínimo de cuatro meses, para lograr así identificar todos los problemas que puedan presentar los equipos de medición en las condiciones ambientales de la ZNI y para estudiar el comportamiento de los canales de telecomunicación.

Al finalizar el plan piloto se deberá tener una memoria con la descripción detallada de todos los incidentes que se presentaron, las soluciones que se encontraron y el impacto que tuvieron sobre el esquema de vigilancia y monitoreo.

5.2 Implementación

La propuesta de implementación para llegar a cobertura total de telemetría tiene las siguientes etapas:

1. Iniciar con localidades que dentro del cuadro permitan conectividad móvil, tengan la mayor cantidad de usuarios y dentro de los análisis de cobertura móvil con las herramientas WEB de los operadores estén con niveles de recepción superiores a -80 dBm. Con la realización de los "Site Survey" se verificarán que las coordenadas geográficas estén de acuerdo a la información, adicionalmente se revisarán alturas de postes en sitio para garantizar que tengan altura adecuada y no existan obstrucciones cercanas como árboles de gran altura y/o tanques de agua que puedan afectar considerablemente la recepción de la señal de la radio base en el sitio de posible ubicación de equipo de comunicaciones. Esto porque, las localidades con mayor número de usuarios y más facilidades de comunicación son evidentemente las que tendrán mayor relación beneficio-costos con la implementación del sistema de medición.
2. Partiendo de las localidades del numeral anterior, buscar las localidades que tengan posibilidad de conectividad RF, de acuerdo a la "Matriz de Conectividad". Con la realización de los "Site Survey" se verificarán que las coordenadas geográficas estén de acuerdo a la información, adicionalmente se revisarán alturas de postes en sitio para garantizar que tengan altura adecuada y no existan obstrucciones cercanas como árboles de gran altura y/o tanques de agua que puedan afectar considerablemente la línea de vista con la localidad correspondiente que podría conectar por RF en Banda de 915 MHz.
3. Dentro de los posibles sitios para conectividad móvil se dejará como última alternativa a sitios que prevén señal de recepción móvil inferior a - 100 dBm y/o le correspondan muy pocos usuarios.
4. En cuanto a los sitios que se plantea implementar la conectividad por satélite, se recomienda dar prioridad por razones de costos a la utilización de tecnología en Banda L. Para usos de banda angosta se prevé menores costos en lo referente a los transceptores satelitales y facilidad de instalación debido a la banda de operación.

Bibliografía

- 5GAméricas. GSM: Global System for Mobile Communications. <http://www.5gamericas.org/en/resources/technology-education/gsm/>
- ABB. (2018). *A43/A44 User Manual*.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, & USAene. (2013). *DETERMINACIÓN DE INVERSIONES Y GASTOS DE ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA ACTIVIDAD DE GENERACIÓN EN ZONAS NO INTERCONECTADAS CON PLANTAS TÉRMICAS*. Bogotá D.C.
- DSM&T. (2018). IP Rating Chart. Retrieved December 6, 2018, from <http://www.dsmt.com/resources/ip-rating-chart/>
- IEEE Std. 802.15.4 Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks. Dr. José a. Gutierrez. Technology Manager. Embedded System and Communications Group. Innovation Center. 2005.
- IoT Webinar– Industry 4.0 Industry. IoT OPTIMISING with Mobile IoT. Sam Brown, IoT Technical Manager, GSMA. Mobeen Khan , AVP, IoT Strategy and Product Management, AT&T Business. 24 October 2018.
- Iridium. Iridium IoT Comparison. 29th November 2017. http://www.satcomglobal.com/_assets/media/editor/Iridum%20M2M%20IoT%20Comparison.pdf
- LoRaWAN 1.0.3 Regional Parameters. LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup. July 2018.
- Long Term Evolution for Machines: LTE-M. <https://www.gsma.com/iot/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/>
- LoRa Technology: Ecosystem, Applications and Benefits. Published by Mobile World Live. 2017.
- LoRa Alliance Wide Area Networks for IoT. LoRa Alliance.org. <https://loralliance.org/Contact/RequestSpecificationForm.aspx>.
- National Electrical Manufacturers Association. (2004). *ANSI/IEC 60529-2004*. Rosslyn, Virginia.
- Schneider Electric. (2018). *PowerLogic Electrical network management*.
- ZigBee and Wireless Radio Frequency Coexistence. Junio 2007.
- ZigBee Specification. ZigBee Document 05-3474-21. Agosto 5 2015.