



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”**

**ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TELEMETRÍA PARA
LA VIGILANCIA EN LAS ZNI**

DOCUMENTO No. AN-C-1136-04

USAENE

Bogotá D.C. 21 de diciembre de 2018

TABLA DE CONTENIDO

Glosario	5
1. Introducción	8
2. Análisis de costos	9
2.1 Costos de inversión	10
2.2 Costos de administración, operación y mantenimiento	23
2.3 Flujo de costos	24
3. Análisis de la relación Beneficio-Costo.....	26
4. Consideraciones normativas	31
5. Conclusiones	33
Bibliografía.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Componentes de energización del sistema.....	11
Tabla 2-2: Equipos de medición de energía.....	12
Tabla 2-3. Costos Inversión y Opex Terminal VSAT.....	13
Tabla 2-4. Costos Inversión y OPEX Terminal Banda L.....	14
Tabla 2-6. Costos Inversión y OPEX Terminal 3G / 4G.....	15
Tabla 2-7 Costos Inversión y OPEX Terminal RF.	16
Tabla 2-8. Localidades consideradas para plan Piloto.	17
Tabla 2-9. Costos Estimados Proyecto Piloto a un año.....	18
Tabla 2-10. Comparación de Tecnologías y Costos.....	19
Tabla 2-11: Costos de transporte.....	20
Tabla 2-12: Costos de transporte por localidad.....	20
Tabla 2-13: Costos de instalación.....	22
Tabla 2-14: Costos de la implementación de sistemas de medición considerando comunicación satelital.....	25
Tabla 3-1: costo unitario de prestación del servicio en las localidades escogidas.....	26
Tabla 3-2: Demanda estimada por usuario Res. 182138 MME de 2007	26
Tabla 3-3: Beneficio según las horas de prestación efectiva de servicio para un año en millones de pesos	27
Tabla 3-4: Límite de consumo sujeto de subsidio Res. 181272 MME de 2011	28
Tabla 3-5: Beneficio de la prestación efectiva del servicio durante 5 años según las horas de prestación en millones de pesos	28
Tabla 3-6: Relación beneficio – costo según las horas de prestación efectiva del servicio	29
Tabla 3-7: Relación beneficio – costo según las horas de prestación efectiva del servicio aumentando un 20% el costo de la solución	30
Tabla 4-1: Contexto regulatorio de la medición en ZNI	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2-1: Esquema de energización.....	10
Fig. 2-2: Topología de Red para Plan Piloto con tecnología Móvil terrestre y RF.....	17
Fig. 2-2: Ubicación de las localidades de estudio en los grupos de ZNI.....	21
Fig. 2-3: Flujo de costos.....	24

Glosario

Banda L:	Rango de frecuencias del espectro radio eléctrico que se encuentran en el rango entre 1 GHz y 2 GHz
BGAN:	Por sus siglas en inglés (Broadband Global Área Network), se refiere a redes satelitales de cobertura global. Debido a que se utiliza la Banda L se permite una gran cobertura con un solo satélite en órbita GEO.
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
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
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.
DNP:	Departamento Nacional de Planeación.
FileZilla:	Es un software de distribución gratuita que permite realizar transferencia de archivos utilizando protocolos como: ftp y ftps.
FTP:	Por sus siglas en inglés (File transfer protocol), protocolo de transferencia de archivos, lo cual también se puede realizar en forma segura a través de FTPS y SFTP. FTPS, lo hace a través de una capa de seguridad TLS, mientras que SFTP lo hace a través de un subsistema de seguridad, que permite que la transferencia de archivos se efectúe de forma segura así sea a través de una red insegura como internet.
Gateway:	Es un término que se refiere normalmente a punto de enlace con otro sistema.
GEO:	Término que se refiere a satélites ubicados en órbita geo estacionaria. Al estar ubicados en esta órbita los satélites giran a la misma velocidad angular que la tierra y en consecuencia su posición relativa respecto a la superficie terrestre va ser siempre la misma.
GPRS:	Por sus siglas en ingles “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.
M2M:	Por sus siglas en inglés comunicación entre máquinas (Machine to Machine). En la actualidad este término ha tenido mucha importancia por las tendencias mundiales de tecnología de conectar dispositivos en forma global. Guarda gran relación con IoT.
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.
RF:	RF es un término general que se refiere a radio frecuencia. En el caso específico de este proyecto se limita a frecuencias de uso libre que sirven para transmitir datos de telemetría, M2M o para uso de IoT.
SFTP:	SFTP es transferencia de archivos que se hace a través de un subsistema de seguridad, que permite que la transferencia de archivos se efectúe de forma segura así sea a través de una red insegura como internet.
SSPD:	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
SUI:	Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios.
TDMA:	Protocolo de comunicaciones, con el cual se comparte el uso de un canal de comunicaciones por multiplexación en tiempo.
TIC:	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
VSAT:	VSAT (por sus siglas en inglés Very Small Aperture Terminal) es un sistema de comunicaciones por satélite que sirve a usuarios domésticos y comerciales. Precisamente el tamaño de las antenas de los usuarios se encuentra entre 60 cm y 1,2 metros (típicamente).
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

El esquema de vigilancia y monitoreo propuesto se compone de cuatro partes básicas: la medición, el procesamiento de datos, la transmisión de datos y los equipos de energización. Con estos elementos es posible tener diferentes combinaciones, por ejemplo se podrían tener sistemas de medición alimentados con paneles solares y baterías, transmitiendo datos a través de redes satelitales, o bien podrían ser sistemas con alimentación redundante usando el generador eléctrico y con transmisión de datos a través de redes móviles y radiofrecuencia. La elección de la combinación adecuada para cada localidad dependerá de las condiciones de cobertura de telecomunicaciones y del costo que tengan las distintas opciones.

En el desarrollo de este estudio se ha evidenciado que los costos del transporte e instalación impactan fuertemente sobre el costo total de la solución. De modo que, es necesario analizar puntualmente para cada localidad de las ZNI, el costo que tendrá la implementación del sistema de vigilancia.

Para hacer un estimado de costos y poder conocer el beneficio de implementar el sistema de vigilancia, en este estudio se usará la división de Zonas no Interconectadas establecida en la resolución CREG 091 de 2007. En esta se tienen 11 grupos, para cada uno de ellos se analizarán dos casos: una localidad tipo 3 y otra tipo 4.

Como se menciona en informes anteriores, lo ideal será iniciar la implementación en los grupos de ZNI que presenten la mayor relación beneficio – costo. Por tal motivo, el objetivo de este informe es identificar en cuales grupos se obtendría el mayor beneficio por la implementación de sistemas de vigilancia.

El presente documento está organizado de la siguiente forma: en el capítulo 2 se hace el análisis de todos los costos en los que se incurre con el proyecto por una localidad de cada grupo considerando las posibles combinaciones tanto en CAPEX como en OPEX. En el capítulo 3 se analizan los beneficios de la vigilancia en la prestación del servicio, en el capítulo 4 se analizan las consideraciones normativas relevantes para la implementación exitosa del proyecto. Y, finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones de este informe.

2. Análisis de costos

Como se mencionó en la introducción, la evaluación de la relación beneficio – costo se hará según los grupos regionales establecidos en la resolución CREG 091 de 2007:

1. **Chocó – Atrato:** son los municipios de Vigía del Fuerte (Antioquia), Acandí, Unguía, Riosucio área rural y Bojayá (Chocó). Estos se encuentran en cercanías al río Atrato y al Golfo de Urabá. Estas poblaciones se abastecen de combustible desde Cartagena
2. **Litoral Pacífico – Chocó:** son los municipio costeros al mar pacífico y del centro del departamento del Chocó como Juradó, Nuquí, Bahía Solano, Alto Baudó, Bajo Baudó, Litoral del Bajo San Juan, Sipí, Bagadó, Istmina, Lloró, Novita, Condoto, Cantón de San Pablo y Quibdó. Estas poblaciones se abastecen de combustible desde Buenaventura a través del mar pacífico.
3. **Litoral Pacífico – Nariño – Cauca:** son los municipios de El Charco, La Tola, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, Santa Bárbara, Barbacoas, Roberto Payan, Magui Payan, Tumaco, Guapi, Lopez de Micay y Timbiquí. Estos comparten la característica de ser costeros al mar pacífico y estar dentro de los departamentos de Nariño y Cauca. Estas poblaciones se abastecen de combustible desde Buenaventura a través del mar pacífico.
4. **Río Meta y Casanare:** son los municipios de Puerto Gaitá, Orocué, Paz de Ariporo, Trinidad, Villanueva, Cravo Norte, La Primavera y Santa Rosalía, ubicados en los departamentos de Meta, Casanare y Arauca en cercanías a los ríos Meta y Casanare. Estos municipios se abastecen de combustible desde Mansilla en Cundinamarca.
5. **Río Guaviare – Meta – Guaviare – Vichada – Guainía:** son los municipios de La Macarena, Vista Hermosa, Puerto Rico, Puerto Concordia, Mapiripan, San José del Guaviare, San José de Ocune y Barranco Minas. Todos ubicados en los departamentos de Meta, Guaviare y Guainía. Estos municipios se abastecen de combustible desde Mansilla en Cundinamarca.
6. **Ríos Caquetá y Caguán – Caquetá – Putumayo – Amazonas:** son los municipios de Solita, San José del Fragua, Curillo, Valparaíso, Puerto Guzmán y Puerto Santander. Estos, ubicados en los departamentos de Caquetá, Putumayo y Amazonas cerca a los ríos Caquetá y Caguán. El abastecimiento de combustible se hace desde Neiva o Yumbo.
7. **Río Putumayo – Putumayo – Amazonas:** son los municipios de Puerto Asís, Puerto Leguizamó y El Encanto. En la rivera del río Putumayo en los departamentos de Putumayo y Amazonas. Estos municipios se abastecen de combustible desde Neiva, Yumbo o de países vecinos.
8. **Departamento del Amazonas:** son los municipios de Puerto Nariño y Leticia, junto con los corregimientos de La Chorrera, Tarapacá, La Pedrera y Mirití Paraná. En estos el combustible para la generación llega desde Perú o Brasil a través del río Amazonas hasta Leticia.
9. **Departamento del Vaupés:** son los municipios de Mitú, Taraira y Carurú, junto con los corregimientos Pacoa, Morichal y Yavaraté. El abastecimiento de combustibles de estos se hace desde Mansilla en Cundinamarca.

10. **Departamento del Guainía:** es el municipio de Puerto Inírida junto con los corregimientos de San Felipe, Puerto Colombia, La Guadalupe, Cacahual, Campo Alegre y Morichal Nuevo. El abastecimiento de combustible de estos se hace desde Mansilla en Cundinamarca
11. **Departamento del Vichada:** es el municipio de Puerto Carreño junto con los corregimientos de Santa Rita y Cumaribo. El abastecimiento de combustible de estos se hace desde Mansilla en Cundinamarca

2.1 Costos de inversión

Hardware (energización)

En el documento anterior se listaron los elementos que componen el sistema de medición propuesto para la vigilancia de localidades tipo 3 y 4. Los equipos principales que componen el sistema de alimentación se muestran a continuación.

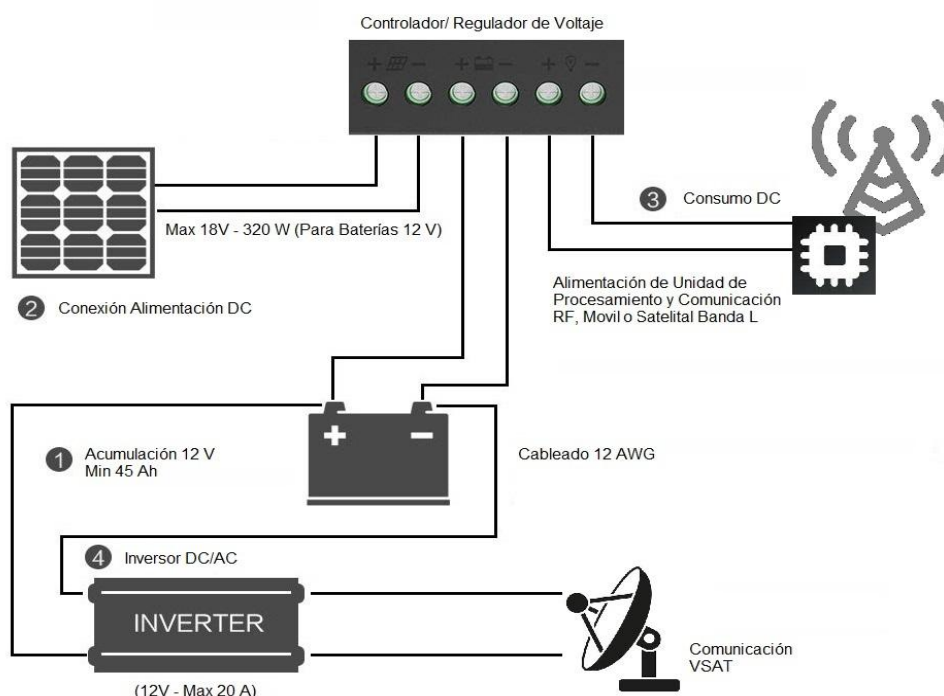


Fig. 2-1: Esquema de energización

El sistema lo compone: La acumulación o batería la cual suministra la energía a todos los componentes, esta es cargada mediante dos sistemas de alimentación, aquel que se muestra en la figura hace referencia a la fuente solar fotovoltaica correspondiente a un máximo de dos paneles solares policristalinos de 100 Wp y 18 Vdc cada uno conectados en paralelo. Adicionalmente se contempla la carga mediante la fuente de generación ya sea a 480/440/220 Vac las cuales son tensiones que se ha evidenciado en otros estudios de generación en zonas aisladas (USAENE, 2013), no obstante, se contemplan tensiones hasta 600 V, teniendo en cuenta que dentro de las localidades de análisis, el SUI reporta que existen plantas de gran capacidad hasta 500 kW, si bien la proporción actual muestra más del 80% de las plantas de generación con capacidad menor a 100 kW, se contempla en caso de que se requiera. Es por ello que se establece el uso de un posible transformador de control con una capacidad limitada a 160 VA que reduzca el voltaje de entrada en caso que sea mayor a 600 V, 480 V o

440 V. Por tanto, si la tensión del generador es de 220V este no requerirá de transformador de control.

Por otro lado se encuentra el consumo en DC, que no cuenta con elementos constructivos en el sistema de alimentación del equipo. En caso de soluciones satelitales VSAT, se requiere de alimentación en AC, para ello se contempla un inversor que entregue una potencia continua de 150 W a 12 V.

Los elementos adicionales como cableado para baterías, alimentación en DC, conexión de paneles se contempla en calibres 8, 12 y 10 AWG respectivamente y la protección de alimentación del sistema proveniente del generador. Así mismo, se incluyen elementos constructivos como la canalización de la alimentación de los paneles solares los cuales deben cumplir con la normatividad RETIE, por tanto se contemplan dentro de los materiales de la instalación de tubería EMT de 1', con sus respectivos elementos de sujeción y conexión. Los precios fueron tomados del mercado colombiano para el mes de diciembre de 2018 puestos en la ciudad de Bogotá D.C. los cuales se presentan en la siguiente figura.

Tabla 2-1: Componentes de energización del sistema

Materiales a Instalar	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Batería VRLA Gel 45 Ah 12 V	UN	1	\$ 471.600,00	\$ 471.600,00
Transformador Monofásico hasta 600/220V 160 VA	UN	1	\$ 350.177,10	\$ 350.177,00
Panel Solar Fotovoltaico Policristalino 100 Wp 18 V	UN	2	\$ 235.000,00	\$ 470.000,00
Conductor # 12 AWG THHN 1000 V	ML	4	\$ 1.050,00	\$ 4.200,00
Conductor # 8 AWG THHN 1000 V	ML	2	\$ 2.900,00	\$ 5.800,00
Conductor Solar # 10 AWG XLPE 2000 V	ML	10	\$ 4.900,00	\$ 49.000,00
Inversor 150 W Continuo 120/240 V 12 V	UN	1	\$ 210.000,00	\$ 210.000,00
Rectificador 100W 220 AC/12 DC	UN	1	\$ 92.000,00	\$ 92.000,00
Regulador de Carga 20 A 12 V	UN	1	\$ 121.200,00	\$ 121.200,00
Tubo Conduit Metálico EMT de Ø 1/2" x 3 m.	UN	2	\$ 47.800,00	\$ 95.600,00
Terminales para Tubería EMT de Ø 1/2"	UN	2	\$ 4.200,00	\$ 8.400,00
Uniones para Tubería EMT de Ø 1/2"	UN	2	\$ 3.500,00	\$ 7.000,00
Grapa Doble Ala para Tubería de Ø 1/2"	GL	1	\$ 15.700,00	\$ 15.700,00
Breaker 3 + N, 16 A, 10 kA	UN	1	\$ 87.500,00	\$ 87.500,00
TOTAL				\$ 1.988.177,00

En total el sistema de alimentación suma 1.988.177 COP, de los cuales la batería y el panel solar suman cerca del 50% del valor del sistema de alimentación. Es importante resaltar que equipos como el transformador y el inversor son equipos que no serán necesarios en todas las localidades, dado que si la tensión de los generadores es igual a 220V no se requiere del transformador, conjuntamente si el sistema no contempla comunicación satelital VSAT, no requiere del inversor. Por tanto, los costos pueden disminuir en un 30%.

Hardware (medición)

Analizando los precios de lista de fabricantes de medidores (trifásicos) como ABB, Siemens, Schneider y Circutor, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2-2: Equipos de medición de energía

Marca	Modelo	Precio índice
Circutor	Cirwatt B502	\$ 2'026.982
Circutor	Cirwatt B410D	\$ 1'273.232
Siemens	PAC 2200	\$ 1'062.400
Siemens	PAC 3200T	\$ 1'270.700
Siemens	PAC 3100	\$ 1'327.900
Siemens	PAC 3200	\$ 2'117.800
Honeywell	A1800 alpha	\$ 884.045
ABB	B23 111-100	\$ 1'518.000
ABB	B23 212-100	\$ 2'236.000
ABB	A44 311-100	\$ 2'504.000
Schneider	A9MEM3355	\$1'822.398
Schneider	A9MEM3365	\$ 2'065.377
Schneider	PM2230	\$ 1'877.177
Promedio		\$ 1'691.232

Para el dispositivo programable se asumirá el costo actual en mercado de una tarjeta programable Raspberry Pi 3B+ dado que es el más costoso de los dispositivos programables pero también el más versátil y fácil de implementar. El costo de este dispositivo será entonces \$160.000 COP (Raspberry Pi foundation, 2018). Este valor incluye el valor de la memoria necesaria para el dispositivo de 2 GB, con la cual se almacenará la información de reportes diarios.

Costos de Comunicación Satelital

Para el caso de soluciones de conectividad vía enlaces satelitales, tal como lo hemos citado en los entregables de conectividad planteada para zonas ZIN y especificaciones técnicas de comunicación satelital, se plantearon dos opciones: VSAT y Servicios BGAN M2M en Banda L.

VSAT M2M

Para el caso de conectividad VSAT se podrá contar con gran velocidad de conectividad en uplink¹ (que para el caso de este proyecto sería la más importante a tener en cuenta), que podría llegar a 2 Mbps o 4 Mbps. Las velocidades en Downlink estarían entre 20 Mbps a 40 Mbps para el caso del terminal VSAT que se está tomando de referencia².

La utilización de terminal VSAT se podría utilizar de dos formas posibles:

- **Diseño independiente:** Utilización de terminales en los puntos de medición o gateway satelitales y un Hub en Bogotá, utilizando protocolo de tipo “Adaptive TDMA”, en Banda Ku o Banda Ka, apoyado en proveedores con cobertura en las zonas requeridas del país, tal como se comentó en la sección “2.3 Telecomunicaciones”, del entregable 2..
- **Conectividad Internet:** Esta modalidad se recomienda para la implementación de pruebas del proyecto piloto. En todo caso esta modalidad también aplicaría para la implementación total del proyecto ya que por economías de escala los planes equivalentes resultarían más económicos. Para este caso se requiere un bróker MQTT y un desarrollo de portal WEB³.

Para el caso del diseño independiente (inversión en terminales VSAT por aparte y alquiler de ancho de banda con cualquier proveedor satelital), el costo equivalente de pago mensual será proporcional al ancho de banda utilizado y podrá reducirse considerablemente con el incremento de sitios.

En caso del diseño de conectividad por internet en todo caso se considerará la inversión de terminales VSAT por aparte más el costo del plan mensual según el volumen de datos a manejar. Para los análisis iniciales se está considerando un plan de hasta 10 GB/Mes/Sitio que está por el orden de US \$ 60 / Mes⁴. Si adicionalmente se considera un costo de US \$ 5 / Mes / Sitio para el bróker MQTT, el valor mensual asciende a \$200,000 / Mes / Sitio. Adicionalmente se podría contar con un servidor gratuito (FileZilla Server) en un Raspberry y contando con el debido manejo de direcciones IP del proveedor de internet satelital se podría acceder a los datos almacenados en este dispositivo, sin necesidad de contar con el MQTT Broker.

Tabla 2-3. Costos Inversión y Opex Terminal VSAT.

Detalle		Valor
MB / Mes / Sitio		10,000
Costo plan / Mensual	COP \$	200,000
Costo Protección IP65	US \$	100
Costo Unidad de RF	US \$	400
Costo Unidad Satelital VSAT	US \$	2,600
Instalación Sistema VSAT	US \$	500

¹ Normalmente para los servicios de internet se tiene en cuenta la velocidad de Downlink, pero para aplicaciones M2M viene a tener igual importancia el uplink ya que normalmente la mayoría de mensajes serán en dirección del medidor del generador hacia la nube o el hub del servidor.

² http://www.groundcontrol.com/indirect/iDirect_X1_Outdoor_Spec_Sheet.pdf.

³ Al contar con un Arduino o Raspberry PI en los sitios de medición realizar esto es muy sencillo y para efecto de un Piloto gestionando pocos sitios, el acceso a los datos podría realizarse utilizando la misma funciones de consola del broker MQTT (AWS, IBM, Azure etc).

⁴ <https://www.satelliteinternet.com/hughesnet/internet/#plans>

Inversión VSAT	US \$	4,220
Costo Anual Plan	US \$	800
Costo Total / Anual	US \$	5,020

La anterior tabla muestra la inversión necesaria para cada sitio (que con base a las coordenadas de los sitios la única solución planteada hasta el momento sería por vía satelital) en CAPEX y OPEX considerando 5 años. Los precios tanto de terminales como de los planes, corresponden a valores de mercado y no están teniendo en cuenta descuentos por economía de escala.

Las unidades de RF se han considerado en el caso más crítico de tal forma que se tenga una unidad en el lado de la estación VSAT y otro en el equipo de medición.

Banda L M2M

Como se citó en el numeral “5.2 Implementación” del entregable 3, hemos planteado el uso de terminales en Banda L pues proporcionan servicios de datos a bajas velocidades del orden de 450 kbps⁵, suficiente para aplicaciones M2M y a costos bastante razonables.

Los volúmenes de datos que se pueden manejar están por el orden de varios MB / Mes, los cuales pueden incluir IP estática⁶, lo cual será de gran utilidad para crear VPNs o sencillamente accesos ftp⁷ desde cualquier parte de Colombia, y de esta forma acceder a los mensajes almacenados en el Raspberry.

Tabla 2-4. Costos Inversión y OPEX Terminal Banda L.

Detalle	Valor	
MB / Mes / Sitio		20
Costo plan / Mensual	COP \$	210,000
Costo Protección IP65	US \$	100
Costo Unidad de RF	US \$	400
Costo Unidad Satelital Banda L	US \$	1,000
Instalación Sistema Banda L	US \$	500
Inversión Banda L	US \$	2,300
Costo Anual Plan	US \$	840
Total Anual	US \$	3,140

⁵ http://www.groundcontrol.com/BGAN_M2M.htm

⁶ Las direcciones IP públicas estáticas (también llamadas "IP globales") para terminales BGAN están disponibles desde Ground Control y son útiles para conectarse a una VPN que requiere una IP estática, o para acceder a dispositivos conectados al terminal BGAN desde Internet. Estas IP enrutables públicamente no cambiarán sin importar dónde se conecte en el mundo.

⁷ Desde un Filezilla Client que es gratuito y se puede instalar en cualquier PC (se requiere instalar FileZilla Server en Raspberry PI).

La anterior tabla muestra la inversión necesaria por cada sitio (que con base a las coordenadas de los sitios la única solución planteada hasta el momento sería por vía satelital) en CAPEX y OPEX considerando 5 años. Los precios tanto de terminales como de los planes, corresponden a valores de mercado y sin tener en cuenta descuentos por economía de escala.

Las unidades de RF se han considerado en el caso más crítico de tal forma que se tenga una unidad en el lado del terminal en Banda L y otro en el equipo de medición.

Para el caso del terminal satelital se está teniendo en cuenta un valor del 20 % adicional que corresponden a los costos por nacionalización y transporte, en puerto en Colombia. El costo de US \$ 500 de instalación corresponde al valor para el anclado al poste genérico ubicado cerca del punto de generación, así como configuración y puesta en servicio del terminal. El costo de transporte a la ZNI se ha integrado al valor de transporte de los demás equipos que conforman el sistema de medición.

Redes Móviles 2G, 3G y 4G LTE

Como se ha mencionado en los entregables previos, aunque a un costo mayor, existe oferta de terminales para redes 2G, 3G o 4G LTE⁸. Con base en los mapas de cobertura de los operadores se tiene la posibilidad para 376 localidades de ZNI con cobertura con este tipo de redes. La siguiente tabla muestra la inversión estimada para estos sitios en CAPEX y OPEX considerando 5 años. Los precios tanto de terminales como de los planes, corresponden a valores de mercado y no tienen en cuenta los descuentos por economía de escala.

El costo para el plan de datos de referencia, de \$ 20,000 / Mes, permite tener aproximadamente entre 500 MB - 1 GB de consumo⁹, que como se ha citado en el diseño de la solución, aseguran el envío de los mensajes básicos del estado de los generadores previstos bajo el proyecto.

Tabla 2-5. Costos Inversión y OPEX Terminal 3G / 4G.

Detalle		Valor
MB / Mes / Sitio		1,000
Costo plan / Mensual	COP \$	20,000
Energía costo	US \$	200
Costo Protección IP65	US \$	0
Costo Unidad de RF	US \$	200
Costo Unidad Móvil	US \$	1260
Instalación Sistema Móvil	US \$	500
Inversión Sistema Móvil	US \$	2,180
Costo Anual Plan	US \$	80
Costo Total	US \$	2,260

⁸

https://co.mouser.com/ProductDetail/Digi-International/WR31-U92A-DE1-TB?qs=ZqXcJfGkSjs5SCPGgvqKg%3d%3d&utm_source=eciaauthorized&utm_medium=aggregator&utm_campaign=WR31-U92A-DE1-TB&utm_term=WR31-U92A-DE1-TB&utm_content=Digi-International

⁹ Los costos de consumo de datos móviles son equivalentes sin importar la tecnología, ya que se basan en el consumo total de datos sin importar la velocidad de acceso.

Costos Equipos RF

Los equipos de RF que operan en frecuencias libres (no requieren pago de contraprestación anual, ni trámite ante el MinTic), hacen parte integral de este proyecto, pues sirven de transporte para localidades que tienen línea de vista con otras que cumplen la función de Gateway IP o de RF, para después tener acceso a un bróker MQTT o a un Hub satelital.

Los costos de los equipos aquí considerados tienen características con antenas de alta ganancia podrían conectar localidades entre sí en distancias hasta de unos 30 Km, con línea de vista, en banda de 915 MHz¹⁰, tal como se mencionó en el entregable 2, de alternativas de soluciones de conectividad planteadas para las zonas ZIN.

Para el costeo se han tenido en cuenta dos unidades de RF¹¹ por sitio. Un terminal de RF que se conectaría a la CPU (Raspberry o Arduino) que se encuentra con el equipo de medición y otra unidad outdoor en el poste de energía a la altura adecuada que permita línea de vista con el terminal de RF de la localidad que hace las veces de Gateway o de router.

Los costos se describen en la tabla a continuación:

Tabla 2-6 Costos Inversión y OPEX Terminal RF.

Detalle	Valor	
MB / Mes / Sitio	NA	
Costo plan / Mensual	COP \$	20,000
Energía costo	US \$	200
Costo Protección IP65	US \$	100
Costo Unidad de RF	US \$	200
Costo Unidad Móvil	US \$	500
Instalación Sistema RF	US \$	500
Inversión Sistema RF	US \$	1,400
Costo Anual Plan	US \$	0
Costo Anual	US \$	1,400

Costo Proyecto Piloto

Si bien es cierto que en el numeral “5.2 Implementación” del entregable 3, se expone la ruta de implementación, el costo del proyecto piloto se plantea con una solución de conectividad utilizando redes móviles terrestres combinado con tecnología de RF, como se sugiere en la siguiente figura (a modo ilustrativo, de tal forma que en el momento de definir los alcances del proyecto piloto las cantidades y sitios se podrán modificar).

¹⁰ <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/boxed-rf-modems-adapters/xbee-pro-900hp-rf-modems>

¹¹ https://www.digikey.com/product-detail/en/digi-international/XM-M92-4P-UA/XM-M92-4P-UA-ND/4990579?WT.z_cid=ref_neda_dkc_buynow_digiintl&utm_source=ecia&utm_medium=aggregator&utm_campaign=digiintl

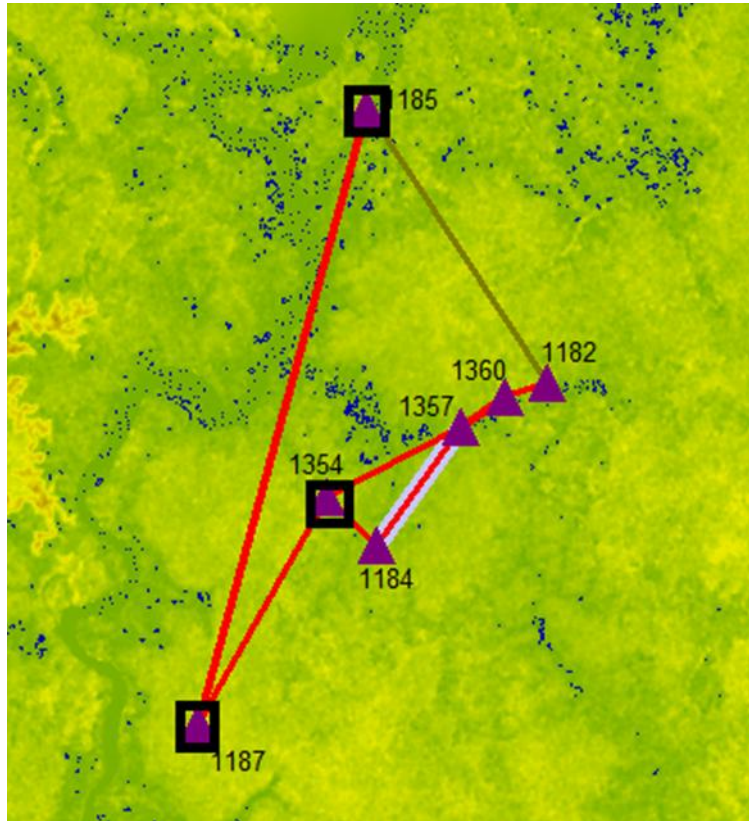


Fig. 2-2: Topología de Red para Plan Piloto con tecnología Móvil terrestre y RF.

En la siguiente tabla se presentan los costos causados por la infraestructura de telecomunicaciones en este proyecto piloto, para 9 localidades de ZNI de referencia.

Tabla 2-7. Localidades consideradas para plan Piloto.

ID	MOVIL	PROTECCION	DEPARTAME	MUNICIPIO	ID_LOCALIDAD	LOCALIDAD	LONGITUD	LATITUD	Niveles (dBm)	TECNOLOGÍA	Costo
1354	MOVIL	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490925	EL TURBIO	-78.318604	2.328217	-83	GSM, UMTS	\$ 2,100
184	MOVIL	NO	CAUCA	GUAPI	19318926	QUIROGA LADO 2	-77.835406	2.611221	-93	GSM, UMTS	\$ 2,100
1182	NO	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490996	LOS LEYOS	-78.28098	2.347841	EMETRIA	RF1_MOVIL	\$ 1,400
1184	MOVIL	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490007	MERIZALDE PORVENIR	-78.309974	2.319889	-93	GSM, UMTS	\$ 2,340
1185	MOVIL	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490999	MIEL DE ABEJAS	-78.311595	2.394878	-93	GSM, UMTS	\$ 2,340
1187	MOVIL	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490971	NAIDISALES	-78.340536	2.289183	-93	GSM, UMTS	\$ 2,100
1235	MOVIL	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490953	TOLITA 2	-78.319978	2.322722	-93	GSM, UMTS	\$ 2,100
1357	NO	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490992	GUARDA RAYA	-78.295598	2.34026812	NO TELECOM	RF1 MOVIL	\$ 1,400
1360	NO	NO	NARIÑO	OLAYA HERRERA	52490941	JUACO No. 2	-78.2880181	2.34547113	EMETRIA	RF1_MOVIL	\$ 1,400

En la siguiente tabla se presenta los costos estimados para la implementación de este tipo de conectividad.

Tabla 2-8. Costos Estimados Proyecto Piloto a un año.

		VSAT	Banda L	Móvil	RF
Sitios		3	3	6	3
MB / Mes / Sitio		10,000	20	1,000	NA
Costo plan / Mensual	COP \$	200,000	210,000	20,000	NA
Energía costo	US \$	NA	NA	200	200
Costo Protección IP65	US \$	100	100	100	100
Costo Unidad de RF	US \$	400	400	200	400
Costo Unidad Comunicación	US \$	2,600	1,000	1,000	NA
Instalación Sistema	US \$	500	500	500	500
Inversión Sistema	US \$	12,660	6,900	13,560	4,200
Costo Anual Plan	US \$	2,400	2,520	480	0
Costo / Sitio	US \$	5,020	3,140	2,340	1,400
TOTAL	US \$	20,080	12,560	16,380	5,600

A continuación se presenta un cuadro comparativo de costos de las principales tecnologías de conectividad planteadas para este proyecto, teniendo en cuenta los costos de inversión, costos recurrentes mensuales según los planes de datos ofrecidos comercialmente, las ventajas o desventajas que ofrece cada tecnología.

Tabla 2-9. Comparación de Tecnologías y Costos.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
VSAT	<p>La misma instalación permitiría proporcionar internet a la comunidad. Adicional a las funciones mínimas de telemetría permitiría envío de Video de alta resolución. Se puede realizar ftp, SMS si se requieren etc.</p> <p>Se recomendaría que este tipo de implementación se realizara conjuntamente con el MinTic y de esta forma el costo correspondiente al SSPD o IPSE sería marginal, si se pondera por ancho de Banda.</p> <p>Adicionalmente se podría recibir contribuciones de la comunidad así sean bajos por uso de internet.</p>	<p>De las soluciones analizadas resulto ser la más costosa.</p> <p>Estimado de US \$ 137 / Mensual para un plan hasta de 10 GB. Con horizonte de 5 años de uso de la inversión en equipos VSAT.</p>
Satélite en Banda L	<p>Costo más bajo respecto al VSAT y existen terminales que permiten operar simultáneamente con redes móviles. Se podrían enviar videos de baja resolución, ftp, envío de SMS si se requiere.</p>	<p>Por la baja velocidad que permiten (por el orden 450 Kbps) los terminales serían para uso fundamentalmente de aplicaciones M2M (Telemetría, IoT). Costo estimado de US \$ 108 / Mensual para un plan hasta de 20 MB. Con horizonte de 5 años de uso de la inversión en equipos Terminales.</p>
GSM	<p>En general todas las soluciones móviles son las más económicas. En el caso específico de Colombia las redes 2G son las que más proporcionarían cobertura a este tipo de sitios.</p>	<p>Las redes 2G en pocos años podrían dejar de operar tanto en el resto del mundo como en Colombia. Debido a las velocidades GPRS básicamente servirían únicamente para aplicaciones M2M y SMS.</p>
UMTS / 4G LTE	<p>Las redes 3G / 4G son económicas, tendrían la ventaja que podrían proporcionar a la comunidad acceso a internet con relativa buena velocidad (en función del nivel de señal móvil).</p>	<p>Baja cobertura. Aún no se tienen planes de mejoras ni de objetivos de cobertura para banda del Dividendo Digital de 700 MHz</p>
RF	<p>Buena alternativa para conectividad M2M a Gateway que tenga acceso a Internet por satélite o de red móvil. Funcionan con banda libre y dado a su funcionamiento en burst hay bajas probabilidades de interferencia electromagnética.</p>	<p>Tecnologías ZigBee o LoRa son fundamentalmente para aplicaciones de baja velocidad.</p>

Software (Integración)

El costo del desarrollo de software y la adecuación de la infraestructura para la recepción de datos dependerá de la decisión que se tome en cuanto al uso de la infraestructura existente, o si se considera instalar un sistema completamente nuevo para monitorear las Zonas No Interconectadas. Sin embargo, el desarrollo de software no será un problema mayor dado el bajo volumen de información que se espera transmitir. Adicionalmente, ya existen sistemas de información como el SUI y el CNM que podrían facilitar la publicación de la información.

Transporte de equipos

El transporte de equipos en zonas no interconectadas es un componente que varía ostensiblemente de una localidad a otra. Para efectos de cuantificar el costo de transporte de equipos se tuvo en cuenta la clasificación de localidades de las ZNI establecida por la CREG 091 de 2007, donde se establecen 12 grupos de departamentos donde se agrupan todas las localidades de las ZNI, inicialmente para cuantificar precios de transporte de combustible a estas zonas, por tanto, es una clasificación pertinente para el objetivo de este estudio.

Por otro lado, en estudios anteriores de análisis de grupos electrógenos de Zonas No Interconectadas se establecen unos costos de transporte de activos de generación a las ZNI de Colombia. Estos se diferencian si el transporte se realiza por tierra en vías primarias, secundarias o terciarias, así mismo, establece costos de COP/ton-km en transporte fluvial o marítimo y por último en transporte aéreo.

Tabla 2-10: Costos de transporte
Fuente: (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG & USAene, 2013)

Indicadores	COP/ton-km
Terrestre Vía Primaria	250,0
Terrestre Vía Secundaria	500,0
Terrestre Vía Terciaria	1000,0
Fluvial	3000,0
Marítimo	2500,0
Aéreo	5500,0

Los costos se determinaron en base a una capacidad máxima de 500 kg de equipos y herramienta para la instalación del sistema, conjuntamente se actualizó a precios de noviembre de 2018.

Tabla 2-11: Costos de transporte por localidad

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	Chidima	Buchua	Bagrero	San Teodoro	Arrecifal
Terrestre Vía Primaria	154,8	\$ 65.004,23	\$ 61.444,48	\$ 61.444,48	\$ 61.444,48	\$ 19.036,95
Terrestre Vía Secundaria	309,5	\$ 105.864,04	\$ 34.978,47	\$ 34.978,47	\$ 45.193,42	\$ -
Terrestre Vía Terciaria	619,1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 74.909,64	\$ -
Fluvial	1857,3	\$ 48.288,86	\$ 177.368,69	\$ -	\$ 260.016,93	\$ 488.460,37
Marítimo	1547,7	\$ 145.176,12	\$ 280.137,29	\$ 168.701,46	\$ -	\$ -
Aéreo	3405,0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.213.239,34
TOTAL		\$ 364.334,00	\$ 553.928,92	\$ 265.124,40	\$ 441.564,46	\$ 2.720.736,67
TOTAL + 10% Margen		\$ 400.767,40	\$ 609.321,82	\$ 291.636,85	\$ 485.720,91	\$ 2.992.810,33

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	El Diamante	Puerto Nariño	Miriti	Arara Cuduyari
Terrestre Vía Primaria	154,8	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Terrestre Vía Secundaria	309,5	\$ 2.699,22	\$ -	\$ -	\$ -
Terrestre Vía Terciaria	619,1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Fluvial	1857,3	\$ 149.324,01	\$ 70.947,48	\$ 555.321,87	\$ -
Marítimo	1547,7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Aéreo	3405,0	\$ 1.314.323,67	\$ 1.985.105,44	\$ 4.062.145,43	\$ 1.971.485,50
TOTAL		\$ 1.466.346,90	\$ 2.056.052,92	\$ 4.617.467,31	\$ 1.971.485,50
TOTAL + 10% Margen		\$ 1.612.981,59	\$ 2.261.658,21	\$ 5.079.214,04	\$ 2.168.634,05

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	BarrancoTigre	Casuarito
Terrestre Vía Primaria	154,8	\$ -	\$ -
Terrestre Vía Secundaria	309,5	\$ -	\$ -
Terrestre Vía Terciaria	619,1	\$ -	\$ -
Fluvial	1857,3	\$ 375.167,28	\$ 132.794,36
Marítimo	1547,7	\$ -	\$ -
Aéreo	3405,0	\$ 2.213.239,34	\$ 2.570.762,62
TOTAL		\$ 2.588.406,62	\$ 2.703.556,98
TOTAL + 10% Margen		\$ 2.847.247,29	\$ 2.973.912,68

Se tomaron localidades tipo de cada uno de los grupos analizados establecidos por la normatividad CREG, se establecieron los costos específicos para el transporte de equipos a esa localidad específica, teniendo en cuenta que las localidades del grupo se encuentran aledañas a la localidad escogida y los medios de transporte a tomar no varían considerablemente a localidades dentro del grupo.

Las localidades se pueden apreciar en la siguiente imagen:

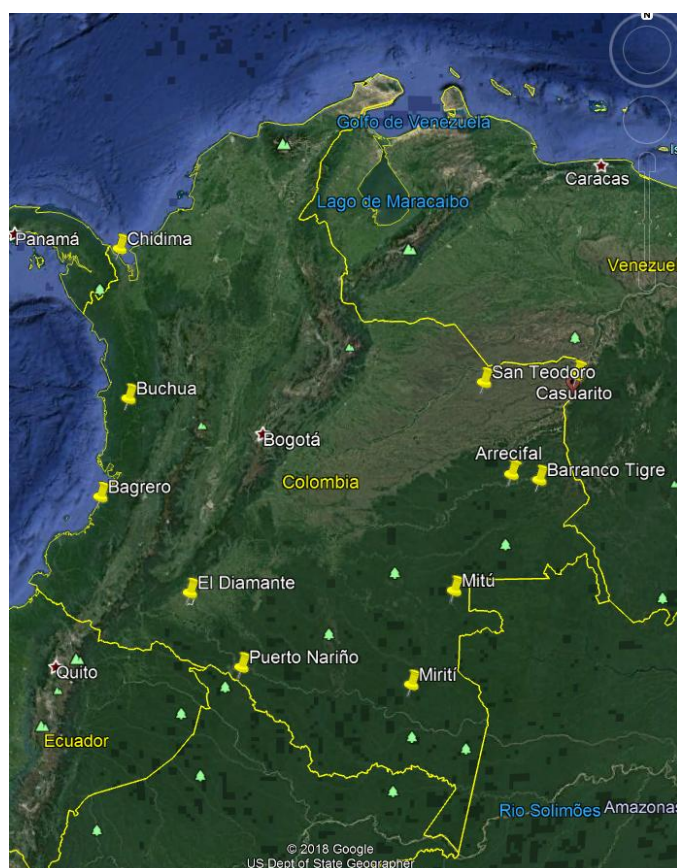


Fig. 2-3: Ubicación de las localidades de estudio en los grupos de ZNI

Instalación

Los costos de instalación incluyen el transporte de personal ajustado a la capacidad de las tres personas sin tener en cuenta la herramienta que se consideró en el transporte de equipos, se tiene en cuenta el trabajo de 3 personas entre ellos un ingeniero, un director logístico o capataz y un técnico electricista con conocimiento en sistemas solares fotovoltaicas y telecomunicaciones. Entre otros gastos se considera la alimentación diaria, el número de días estimados para el transporte e instalación y el alquiler de herramienta utilizada para el procedimiento de instalación.

Conjuntamente, se tiene en cuenta una tasa de imprevistos del 3%, aplicable en proyectos de generación fotovoltaica en las ZNI de Colombia.

Tabla 2-12: Costos de instalación

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	Chidima		Buchua		Bagrero	
Terrestre Vía Primaria	77,4	420,0	\$ 32.502,12	397,0	\$ 30.722,24	397,0	\$ 30.722,24
Terrestre Vía Secundaria	154,8	342,0	\$ 52.932,02	113,0	\$ 17.489,23	113,0	\$ 17.489,23
Terrestre Vía Terciaria	309,5		\$ -	0,0	\$ -		\$ -
Fluvial	928,6	26,0	\$ 24.144,43	95,5	\$ 88.684,35		\$ -
Marítimo	773,9	93,8	\$ 72.588,06	181,0	\$ 140.068,64	109,0	\$ 84.350,73
Aéreo	1702,5		\$ -	0,0	\$ -		\$ -
Tarifas Personal		0%	\$ 182.167,00		\$ 276.964,46		\$ 132.562,20
Tipo de Personal	tarifa/día	N. días	\$ 182.167,00	N. días	\$ 276.964,46	N. días	\$ 132.562,20
Personal Ingeniero	150.000,00	4,0	\$ 600.000,00	4,0	\$ 600.000,00	4	\$ 600.000,00
Personal Dir (Capataz)	90.000,00		\$ 360.000,00		\$ 360.000,00		\$ 360.000,00
personal Técnico	70.000,00		\$ 280.000,00		\$ 280.000,00		\$ 280.000,00
Alimentación Día	\$ 200.000,00		\$ 800.000,00		\$ 800.000,00		\$ 800.000,00
Herramienta	\$ 40.000,00		\$ 160.000,00		\$ 160.000,00		\$ 160.000,00
Imprevistos	3%		\$ 71.465,01		\$ 74.308,93		\$ 69.976,87
TOTAL INSTALACIÓN			\$ 2.453.632,01		\$ 2.551.273,40		\$ 2.402.539,07

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	San Teodoro		Arrecifal		El Diamante	
Terrestre Vía Primaria	77,4	397,0	\$ 30.722,24	123,0	\$ 9.518,48	0,0	\$ -
Terrestre Vía Secundaria	154,8	146,0	\$ 22.596,71	0,0	\$ -	8,7	\$ 1.349,61
Terrestre Vía Terciaria	309,5	121,0	\$ 37.454,82	0,0	\$ -		\$ -
Fluvial	928,6	140,0	\$ 130.008,46	263,0	\$ 244.230,19	80,4	\$ 74.662,00
Marítimo	773,9		\$ -		\$ -	0,0	\$ -
Aéreo	1702,5		\$ -	650,0	\$ 1.106.619,67	386,0	\$ 657.161,83
Tarifas Personal			\$ 220.782,23		\$ 1.360.368,33		\$ 733.173,45
Tipo de Personal	tarifa/día	N. días	\$ 220.782,23	N. días	\$ 1.360.368,33	N. días	\$ 733.173,45
Personal Ingeniero	150.000,00	5	\$ 750.000,00	12	\$ 1.800.000,00	8	\$ 1.200.000,00
Personal Dir (Capataz)	90.000,00		\$ 450.000,00		\$ 1.080.000,00		\$ 720.000,00
personal Técnico	70.000,00		\$ 350.000,00		\$ 840.000,00		\$ 560.000,00
Alimentación Día	\$ 200.000,00		\$ 1.000.000,00		\$ 2.400.000,00		\$ 1.600.000,00
Herramienta	\$ 40.000,00		\$ 200.000,00		\$ 480.000,00		\$ 320.000,00
Imprevistos	3%		\$ 89.123,47		\$ 238.811,05		\$ 153.995,20
TOTAL INSTALACIÓN			\$ 3.059.905,70		\$ 8.199.179,38		\$ 5.287.168,65

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	Puerto Nariño		Miriti		Arara Cuduyari	
Terrestre Vía Primaria	77,4	0,0	\$ -	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Terrestre Vía Secundaria	154,8	0,0	\$ -	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Terrestre Vía Terciaria	309,5	0,0	\$ -	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Fluvial	928,6	38,2	\$ 35.473,74	299,0	\$ 277.660,94	0,0	\$ -
Marítimo	773,9	0,0	\$ -	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Aéreo	1702,5	583,0	\$ 992.552,72	1193,0	\$ 2.031.072,72	579,0	\$ 985.742,75
Tarifas Personal			\$ 1.028.026,46		\$ 2.308.733,65		\$ 985.742,75
Tipo de Personal	tarifa/día	N. días	\$ 1.028.026,46	N. días	\$ 2.308.733,65	N. días	\$ 985.742,75
Personal Ingeniero	150.000,00	4	\$ 600.000,00	12	\$ 1.800.000,00	12	\$ 1.800.000,00
Personal Dir (Capataz)	90.000,00		\$ 360.000,00		\$ 1.080.000,00		\$ 1.080.000,00
personal Técnico	70.000,00		\$ 280.000,00		\$ 840.000,00		\$ 840.000,00
Alimentación Día	\$ 200.000,00		\$ 800.000,00		\$ 2.400.000,00		\$ 2.400.000,00
Herramienta	\$ 40.000,00		\$ 160.000,00		\$ 480.000,00		\$ 480.000,00
Imprevistos	3%		\$ 96.840,79		\$ 267.262,01		\$ 227.572,28
TOTAL INSTALACIÓN			\$ 3.324.867,25		\$ 9.175.995,66		\$ 7.813.315,03

Indicadores	COP/cap-km Actualizado	BarrancoTigre		Casuarito	
Terrestre Vía Primaria	77,4	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Terrestre Vía Secundaria	154,8	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Terrestre Vía Terciaria	309,5	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Fluvial	928,6	202,0	\$ 187.583,64	71,5	\$ 66.397,18
Marítimo	773,9	0,0	\$ -	0,0	\$ -
Aéreo	1702,5	650,0	\$ 1.106.619,67	755,0	\$ 1.285.381,31
Tarifas Personal			\$ 1.294.203,31		\$ 1.351.778,49
Tipo de Personal	tarifa/día	N. días	\$ 1.294.203,31	N. días	\$ 1.351.778,49
Personal Ingeniero	150.000,00	8	\$ 1.200.000,00	5	\$ 750.000,00
Personal Dir (Capataz)	90.000,00		\$ 720.000,00		\$ 450.000,00
personal Técnico	70.000,00		\$ 560.000,00		\$ 350.000,00
Alimentación Día	\$ 200.000,00		\$ 1.600.000,00		\$ 1.000.000,00
Herramienta	\$ 40.000,00		\$ 320.000,00		\$ 200.000,00
Imprevistos	3%		\$ 170.826,10		\$ 123.053,35
TOTAL INSTALACIÓN			\$ 5.865.029,41		\$ 4.224.831,84

2.2 Costos de administración, operación y mantenimiento

Operación

Los precios reportados por los operadores de comunicación satelital indican que este servicio tiene un costo de \$200.000 COP/mes. Mientras que en la red móvil es posible encontrar planes desde \$20.000 COP/mes

Calibración

El código de medida respecto a la calibración establece lo siguiente:

- Debe ser llevada a cabo por un laboratorio certificado con NTC-ISO-IEC 17025
- Es responsabilidad del representante de la frontera comercial
- En caso de no pasar la calibración, el responsable tendrá los tiempos estipulados en la 142 para subsanar la falla
- La calibración debe hacerse después de cualquier reparación o intervención

- La calibración para fronteras tipo 1 debe ser cada 2 años, tipo 2 y 3 cada 4 años y tipo 4 y 5 cada 10 años
- Entre la calibración y la puesta en servicio no pueden pasar más de 6 meses

En informes anteriores se mostró que la mayoría de plantas reportadas en el SUI para localidades tipo 3 y 4 oscilan alrededor de 100 kVA. Por tal motivo, para el análisis costo beneficio se asumirán fronteras comerciales tipo 3, que requieren una calibración de equipos cada 4 años.

Para conocer el costo del servicio de calibración se hizo un estimado con consultas a los laboratorios CIMA Ltda. Y CIDET. El resultado fue un valor promedio de \$300.000 COP en los laboratorios de Bogotá y Medellín. Añadiendo el costo de transporte del equipo el precio se estima estaría cerca de \$650.000 COP

Mantenimiento

Las labores de mantenimiento para inspeccionar el estado de los paneles solares y de la conexión son básicas, por lo que no se considera necesario que personal experto asista al sitio del medidor. El costo de la limpieza de los paneles y la verificación de la conexión no debe ser mayor al 2% de la inversión.

En el caso de que se requieran mantenimientos correctivos se deberá hacer un procedimiento similar al de las calibraciones.

2.3 Flujo de costos

Considerando que los equipos electrónicos y de telecomunicaciones tienen una depreciación a cinco años, los costos analizados en este informe serán a partir de la instalación del equipo de medición en sitio como se presenta en el siguiente gráfico.

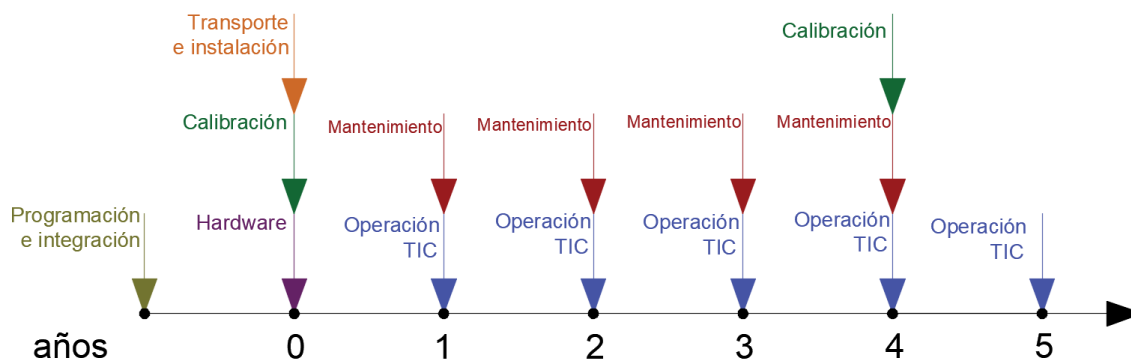


Fig. 2-4: Flujo de costos

La tasa de descuento para obras eléctricas propuesta por el Departamento Nacional de Planeación es de 12% (DNP, 2018). De modo que el costo en valor presente de la instalación de un sistema de medición en cada grupo de localidades considerando que se utiliza comunicación satelital es el siguiente.

Tabla 2-13: Costos de la implementación de sistemas de medición considerando comunicación satelital

Grupo ZNI		Costo de los cinco primeros años de operación en valor presente
1	Chocó – Atrato	\$ 19'913.006 COP
2	Litoral Pacífico – Chocó	\$ 20'237.335 COP
3	Litoral Pacífico – Nariño – Cauca	\$ 19'743.294 COP
4	Río Meta y Casanare	\$ 20'645.169 COP
5	Río Guaviare – Meta – Guaviare – Vichada – Guainía	\$ 28'744.363 COP
6	Ríos Caquetá y Caguán – Caquetá – Putumayo – Amazonas	\$ 24'198.353 COP
7	Río Putumayo – Putumayo – Amazonas	\$ 22'806.933 COP
8	Departamento del Amazonas	\$ 31'988.992 COP
9	Departamento del Vaupés	\$ 27'462.662 COP
10	Departamento del Guainía	\$ 26'117.797 COP
11	Departamento del Vichada	\$ 24'514.631 COP

3. Análisis de la relación Beneficio-Costo

En la siguiente tabla se muestran los costos unitarios de prestación de servicio en localidades que se tomaron como referencia en cada grupo, considerando que la división fue hecha para agrupar las localidades que tienen características similares en el transporte de combustible, y por lo tanto el CU en un mismo grupo debe ser semejante.

Tabla 3-1: costo unitario de prestación del servicio en las localidades escogidas

Grupo ZNI	Municipio	Localidad	Periodo	CU [COP]
1	Acandí	Chidima	Dic-2017	\$1.151
2	Bajo Baudó	Buchua	Dic-2017	\$1.199
3	Guapi	Balsitas	Dic-2017	\$1.199
4	Santa Rosalía	Guacacias	Dic-2017	\$997
5	Barranco Minas	Arrecifal	Dic-2017	\$1.228
6	Solano	Puerto Tejada	Dic-2017	\$1.606
7	Puerto Legízamo	Puerto Nariño	Dic-2017	\$984
8	Puerto Nariño	Naranjales	Dic-2017	\$1.189
9	Mitú	Acaricuara	Dic-2017	\$3.117
10	Puerto Inírida	Almidón	Dic-2017	\$1.097
11	Puerto Carreño	Casuarito	Dic-2017	\$663

De acuerdo con la Ley 188 de 1995, el consumo básico de subsistencia es de 200 kWh-mes. Sin embargo, es un valor de consumo alto para las zonas no Interconectadas, si se compara con los estimativos del Plan Indicativo de Expansión de Cobertura (PIEC 2013-2017 y PIEC 2016-2020) de la UPME, que indica un consumo de 92 kWh-mes (24 horas) por usuario y que se reduce a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar de la localidad en la que habita el usuario.

Para efectos de este análisis se tendrá en cuenta el consumo estimado en la resolución 182138 del Ministerio de Minas y Energía que se presenta en la siguiente tabla

Tabla 3-2: Demanda estimada por usuario Res. 182138 MME de 2007

Tipo localidad	Demanda [kWh/mes – usuario]
3	33,6
4	45

Con estos valores es coherente que exista de consumo de 9 kWh/mes por usuario en cada hora de prestación de servicio. Entonces es posible estimar el costo del servicio para localidades con 50 y 150 usuarios de cada grupo de la ZNI que se presenta en la siguiente tabla en millones de pesos

El cálculo del beneficio, entendido como la correcta prestación del servicio se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Beneficio} = (\# \text{ Usuarios}) * (\text{horas de prestación efectiva}) \\ * (\text{Demanda estimada}) * \text{CU}$$

Tabla 3-3: Beneficio según las horas de prestación efectiva de servicio para un año en millones de pesos

Grupo ZNI	Usuarios	Horas de prestación							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	\$6.22	\$12.43	\$18.65	\$24.86	\$31.08	\$37.29		
	150	\$18.65	\$37.29	\$55.94	\$74.58	\$93.23	\$111.88	\$130.52	\$149.17
2	50	\$6.47	\$12.95	\$19.42	\$25.90	\$32.37	\$38.85		
	150	\$19.42	\$38.85	\$58.27	\$77.70	\$97.12	\$116.54	\$135.97	\$155.39
3	50	\$6.47	\$12.95	\$19.42	\$25.90	\$32.37	\$38.85		
	150	\$19.42	\$38.85	\$58.27	\$77.70	\$97.12	\$116.54	\$135.97	\$155.39
4	50	\$5.38	\$10.77	\$16.15	\$21.54	\$26.92	\$32.30		
	150	\$16.15	\$32.30	\$48.45	\$64.61	\$80.76	\$96.91	\$113.06	\$129.21
5	50	\$6.63	\$13.26	\$19.89	\$26.52	\$33.16	\$39.79		
	150	\$19.89	\$39.79	\$59.68	\$79.57	\$99.47	\$119.36	\$139.26	\$159.15
6	50	\$8.67	\$17.34	\$26.02	\$34.69	\$43.36	\$52.03		
	150	\$26.02	\$52.03	\$78.05	\$104.1	\$130.1	\$156.10	\$182.12	\$208.14
7	50	\$5.31	\$10.63	\$15.94	\$21.25	\$26.57	\$31.88		
	150	\$15.94	\$31.88	\$47.82	\$63.76	\$79.70	\$95.64	\$111.59	\$127.53
8	50	\$6.42	\$12.84	\$19.26	\$25.68	\$32.10	\$38.52		
	150	\$19.26	\$38.52	\$57.79	\$77.05	\$96.31	\$115.57	\$134.83	\$154.09
9	50	\$16.83	\$33.66	\$50.50	\$67.33	\$84.16	\$100.99		
	150	\$50.50	\$100.99	\$151.49	\$202.0	\$252.5	\$302.97	\$353.47	\$403.96
10	50	\$5.92	\$11.85	\$17.77	\$23.70	\$29.62	\$35.54		
	150	\$17.77	\$35.54	\$53.31	\$71.09	\$88.86	\$106.63	\$124.40	\$142.17
11	50	\$3.58	\$7.16	\$10.74	\$14.32	\$17.90	\$21.48		
	150	\$10.74	\$21.48	\$32.22	\$42.96	\$53.70	\$64.44	\$75.18	\$85.92

Cabe destacar que el valor de consumo utilizado está por debajo del valor límite para la asignación de subsidios estipulado en la resolución 181272 del Ministerio de Minas y Energía

Tabla 3-4: Límite de consumo sujeto de subsidio Res. 181272 MME de 2011

Tipo localidad	Consumos Máximos sujetos de subsidio [kWh/mes – usuario]
3	72
4	50

Para calcular el beneficio total durante los cinco años de análisis del proyecto se tuvo en cuenta la tasa de crecimiento de demanda mostrada por la UPME en el informe del Plan Energético Nacional 2006-2025 promedio de 2% anual para el sector residencial. De esta forma, los beneficios totales por la correcta prestación del servicio son los siguientes (descontados al 12%)

Tabla 3-5: Beneficio de la prestación efectiva del servicio durante 5 años según las horas de prestación en millones de pesos

Grupo ZNI	Usuarios	Horas de prestación							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	\$23.22	\$46.43	\$69.65	\$92.86	\$116.08	\$139.29		
	150	\$69.65	\$139.2	\$208.9	\$278.5	\$348.23	\$417.88	\$487.52	\$557.17
2	50	\$24.18	\$48.37	\$72.55	\$96.73	\$120.92	\$145.10		
	150	\$72.55	\$145.1	\$217.6	\$290.2	\$362.75	\$435.30	\$507.86	\$580.41
3	50	\$24.18	\$48.37	\$72.55	\$96.73	\$120.92	\$145.10		
	150	\$72.55	\$145.1	\$217.6	\$290.2	\$362.75	\$435.30	\$507.86	\$580.41
4	50	\$20.11	\$40.22	\$60.33	\$80.44	\$100.55	\$120.66		
	150	\$60.33	\$120.6	\$180.9	\$241.3	\$301.64	\$361.97	\$422.30	\$482.62
5	50	\$24.77	\$49.54	\$74.31	\$99.07	\$123.84	\$148.61		
	150	\$74.31	\$148.6	\$222.9	\$297.2	\$371.53	\$445.83	\$520.14	\$594.44
6	50	\$32.39	\$64.79	\$97.18	\$129.5	\$161.96	\$194.36		
	150	\$97.18	\$194.3	\$291.5	\$388.7	\$485.89	\$583.07	\$680.25	\$777.42
7	50	\$19.85	\$39.69	\$59.54	\$79.39	\$99.24	\$119.08		
	150	\$59.54	\$119.0	\$178.6	\$238.1	\$297.71	\$357.25	\$416.79	\$476.33
8	50	\$23.98	\$47.96	\$71.95	\$95.93	\$119.91	\$143.89		
	150	\$71.95	\$143.8	\$215.8	\$287.7	\$359.73	\$431.67	\$503.62	\$575.57
9	50	\$62.87	\$125.7	\$188.6	\$251.4	\$314.35	\$377.22		
	150	\$188.6	\$377.2	\$565.8	\$754.4	\$943.04	\$1,131.6	\$1,320.2	\$1,508.8
10	50	\$22.13	\$44.25	\$66.38	\$88.51	\$110.63	\$132.76		
	150	\$66.38	\$132.7	\$199.1	\$265.5	\$331.89	\$398.27	\$464.65	\$531.03
11	50	\$13.37	\$26.75	\$40.12	\$53.49	\$66.86	\$80.24		
	150	\$40.12	\$80.24	\$120.3	\$160.4	\$200.59	\$240.71	\$280.82	\$320.94

Y finalmente la relación beneficio – costo (asumiendo comunicación satelital por ser la más costosa) se calcula de la siguiente forma para cada grupo durante los 5 años.

$$B/C = \frac{\text{Beneficios totales en valor presente}}{\text{Costos totales en valor presente}}$$

Tabla 3-6: Relación beneficio – costo según las horas de prestación efectiva del servicio

Grupo ZNI	Usuarios	Horas de prestación							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	1.17	2.33	3.50	4.66	5.83	7.00		
	150	3.50	7.00	10.49	13.99	17.49	20.99	24.48	27.98
2	50	1.19	2.39	3.58	4.78	5.97	7.17		
	150	3.58	7.17	10.75	14.34	17.92	21.51	25.09	28.68
3	50	1.22	2.45	3.67	4.90	6.12	7.35		
	150	3.67	7.35	11.02	14.70	18.37	22.05	25.72	29.40
4	50	0.97	1.95	2.92	3.90	4.87	5.84		
	150	2.92	5.84	8.77	11.69	14.61	17.53	20.45	23.38
5	50	0.86	1.72	2.59	3.45	4.31	5.17		
	150	2.59	5.17	7.76	10.34	12.93	15.51	18.10	20.68
6	50	1.34	2.68	4.02	5.35	6.69	8.03		
	150	4.02	8.03	12.05	16.06	20.08	24.10	28.11	32.13
7	50	0.87	1.74	2.61	3.48	4.35	5.22		
	150	2.61	5.22	7.83	10.44	13.05	15.66	18.27	20.89
8	50	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.50		
	150	2.25	4.50	6.75	9.00	11.25	13.49	15.74	17.99
9	50	2.29	4.58	6.87	9.16	11.45	13.74		
	150	6.87	13.74	20.60	27.47	34.34	41.21	48.07	54.94
10	50	0.85	1.69	2.54	3.39	4.24	5.08		
	150	2.54	5.08	7.62	10.17	12.71	15.25	17.79	20.33
11	50	0.55	1.09	1.64	2.18	2.73	3.27		
	150	1.64	3.27	4.91	6.55	8.18	9.82	11.46	13.09

Haciendo un análisis de sensibilidad, aumentando los costos en un 20% las relaciones beneficio – costo quedan de la siguiente forma.

Tabla 3-7: Relación beneficio – costo según las horas de prestación efectiva del servicio aumentando un 20% el costo de la solución

Grupo ZNI	Usuarios	Horas de prestación							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	0.97	1.94	2.91	3.89	4.86	5.83		
	150	2.91	5.83	8.74	11.66	14.57	17.49	20.40	23.32
2	50	1.00	1.99	2.99	3.98	4.98	5.97		
	150	2.99	5.97	8.96	11.95	14.94	17.92	20.91	23.90
3	50	1.02	2.04	3.06	4.08	5.10	6.12		
	150	3.06	6.12	9.19	12.25	15.31	18.37	21.44	24.50
4	50	0.81	1.62	2.44	3.25	4.06	4.87		
	150	2.44	4.87	7.31	9.74	12.18	14.61	17.05	19.48
5	50	0.72	1.44	2.15	2.87	3.59	4.31		
	150	2.15	4.31	6.46	8.62	10.77	12.93	15.08	17.23
6	50	1.12	2.23	3.35	4.46	5.58	6.69		
	150	3.35	6.69	10.04	13.39	16.73	20.08	23.43	26.77
7	50	0.73	1.45	2.18	2.90	3.63	4.35		
	150	2.18	4.35	6.53	8.70	10.88	13.05	15.23	17.40
8	50	0.62	1.25	1.87	2.50	3.12	3.75		
	150	1.87	3.75	5.62	7.50	9.37	11.25	13.12	14.99
9	50	1.91	3.82	5.72	7.63	9.54	11.45		
	150	5.72	11.45	17.17	22.89	28.62	34.34	40.06	45.79
10	50	0.71	1.41	2.12	2.82	3.53	4.24		
	150	2.12	4.24	6.35	8.47	10.59	12.71	14.83	16.94
11	50	0.45	0.91	1.36	1.82	2.27	2.73		
	150	1.36	2.73	4.09	5.45	6.82	8.18	9.55	10.91

4. Consideraciones normativas

Actualmente existe una política nacional sobre la prestación del servicio en las Zonas No Interconectadas, establecida con el decreto 884 de 2017 y en el cual se publicaron las bases para el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER 2018-2031). El decreto mencionado muestra el interés del gobierno nacional por la ampliación de la cobertura, la promoción de soluciones tecnológicas apropiadas para la generación, la sostenibilidad de las obras y la capacitación en el uso adecuado de la energía. En todos estos temas, la medición juega un papel importante toda vez que la información precisa permitirá optimizar los recursos invertidos en estas regiones y hacer seguimiento a las metas que se propongan.

En cuanto a las responsabilidades de los diferentes agentes sobre los sistemas de medición, cabe destacar las siguientes normas:

Tabla 4-1: Contexto regulatorio de la medición en ZNI

Instrumento	Descripción
Ley 142 de 1994	Crea la SSPD y le asigna funciones de vigilancia y monitoreo en todo el territorio nacional
Ley 1117 de 2006	Da al MME facultades para otorgar subsidios en las condiciones y porcentajes que defina
Ley 633 de 2000	Crea el Fondo de Apoyo para la energización de las Zonas No Interconectadas con el propósito de financiar infraestructura eléctrica
Decreto 2884 de 2001	Establece que la asignación del FAZNI se hará a los proyectos de acuerdo con su impacto social y económico, y a su contribución con las necesidades institucionales
Decreto 1591 de 2004	Establece que los subsidios a la ZNI dependen de la cantidad de energía efectivamente entregada
Decreto 1124 de 2008	Establece que la administración del FAZNI debe hacerse en un comité conformado por el Ministro y Viceministro de Minas y Energía, y por el director de la UPME
Decreto 1623 de 2015	Define las necesidades y prioridades del Plan Indicativo de Expansión de Cobertura
Resolución 181272 de 2011 MME	Establece las horas de prestación de servicio para las localidades tipo 2, 3 y 4.
Resolución 40719 de 2016 MME	Establece la fórmula para el cálculo de subsidios a la ZNI
CREG 091 de 2007	Establece que los prestadores de servicio con capacidad mayor a 100 kW deben tener medición horaria de la energía entregada
CONPES 3108 de 2001	Propone como objetivo de la energización de ZNI, la mejora de la calidad del servicio de energía
CONPES 3453 de 2006	Como lineamiento de política pública, recomienda al MME que implemente un sistema de gestión para la ZNI que propenda por una mejora en la calidad del servicio

Como se puede notar, el Ministerio de Minas y Energía tiene la potestad de definir la metodología para la asignación de subsidios. Por lo tanto, es importante que cuente con información precisa.

Existen diferentes posibilidades para que las entidades públicas obtengan la información que necesitan para realizar sus actividades. Lo recomendable es que sea una sola entidad quien reciba la información desde las ZNI y la procese para brindar informes resumidos a todos los interesados. Ahora bien, todas las entidades interesadas como el Ministerio de Minas y Energía, la SSPD, el IPSE, la UPME y la CREG deben convenir en la mejor forma de presentar la información para que sea fiable y práctica en su manejo.

En las Zonas No Interconectadas no se ha definido la responsabilidad de mantener en buenas condiciones los sistemas de medición. En este sentido se propone que la CREG designe al prestador de servicio para que se encargue del mantenimiento sistema de medición y de la calibración del sistema. Para incentivar esta conducta, se podría condicionar el pago de los subsidios al recibo de información de los sistemas de medida.

Un último aspecto importante que sale a la luz cuando se analiza la normativa vigente, es el hecho de que cuando se haga calibración o mantenimiento a los equipos, la localidad no podrá permanecer sin medición por un tiempo mayor al estipulado en la ley 142 de 2004.

5. Conclusiones

A partir de los resultados de la relación costo – beneficio y sus sensibilidades, se puede concluir que asegurar la prestación del servicio es rentable (relación es mayor a 1) en la mayoría de los casos, aún cuando se está evaluando el caso más costoso con comunicación satelital. Adicionalmente, la relación costo – beneficio indica que se debe dar prioridad a la instalación en las localidades con más usuarios dentro de los grupos 3 y 9 de la ZNI (según la división hecha en la resolución CREG 091 de 2007).

Teniendo en cuenta la relación de los datos de la licitación del Centro Nacional de Monitoreo disponible en el SECOPII número IPSE-CNM-LP-006-2018, en la cual se asigna un presupuesto de \$651'528.975 COP para la instalación de sistemas de medición de energía en 12 ubicaciones de la ZNI con telemetría y sus requerimientos de cantidad y frecuencia de transmisión de información, se puede decir que los sistema de vigilancia propuestos en este estudios encaja como una transición hacia la telemetría en tiempo real de múltiples variables establecida por el CNM.

Dado que actualmente el Centro Nacional de Monitoreo destina un rubro para la vigilancia de ZNI a través de un call-center, es posible que el beneficio del sistema de medición sea mayor, si se considera que a medida que se aumenta la cobertura, se reduce el costo mencionado de call-center.

Se considera que otro beneficio posible sea que el desarrollo del proyecto con el sistema de medición conlleve a una depuración de la información actual de prestación de servicio en las ZNI de Colombia.

Se recomienda que antes de empezar con la instalación de equipos de medición se haga la programación y coordinación de recepción de datos en un sistema centralizado. Para la recepción y publicación de datos existen dos posibilidades: la primera es que se utilice la infraestructura de telecomunicaciones ya existente en el CNM, y la segunda contemplada es que se instale una infraestructura totalmente nueva para este propósito.

Con base en los resultados del estudio se recomienda que para el piloto se seleccionen al menos tres (3) instalaciones para cada tipo de tecnología a probar seleccionado las localidades con mayor número de usuarios por que se demostró que tienen un mayor beneficio/costo y, de forma que le permita evaluar la bondad de las soluciones y sus limitaciones.

Finalmente, se considera primordial establecer un marco normativo que asigne responsabilidades en la medición de energía a los prestadores del servicio en la ZNI. De forma tal que, una vez instalados los equipos, estos se encarguen del mantenimiento.

Bibliografía

- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología de Harberger*. Dirección de estudios económicos.
- Raspberry Pi foundation. (2018). Featured Products. Retrieved December 13, 2018, from <https://www.raspberrypi.org/products/#buy-now-modal>
- Ministerio de Minas y Energía. Resolución 181272, Pub. L. No. 181272 (2011). Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía. Resolución 182138, Pub. L. No. 182138 (2007). Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, & Departamento Nacional de Planeación. CONPES 3453 (2006). Colombia.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2016). *Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2016-2020*. Bogotá.
- ABB. (2018). *Productos de electrificación en baja tensión (vigente a partir de septiembre de 2018)*. Colombia.
- Schneider Electric. (2018). *Medición y Calidad de Energía*. Colombia.
- Siemens. (2018). *Lista de Precios Colombia*. Colombia.
- 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.