

# Nuevo Esquema Comercial en ZNI habilitado a partir de una Solución Tecnológica end-to-end Interoperable de Lectura, Medida y Facturación usando Unidades de Tiempo y/o Energía Programa Cobertura; Redes Inteligentes (EPM)

Premio CIER de Innovación: Ing. José Vicente Camargo Hernández

## Categoría DESCENTRALIZACIÓN

### Autores

Luis Humberto Berrío Valencia; Juan David Arango Uribe; Ana Isabel Vanegas Restrepo; Efraín Alberto Oviedo Carrascal; Rafael Mauricio Luna Uribe; Juan Sebastián Franco Londoño; David Andrés Galeano González; Luis Felipe Escudero Atehortúa

Gerencia Programa Trébol (EPM); Gerencia Comercial T&D (EPM); Gerencia Excelec. Empresas Públicas de Medellín E.S.P. y Excelec International S.A.S. - Medellín, Colombia

[luis.berrio@epm.com.co](mailto:luis.berrio@epm.com.co); [j.arango@excelec.com](mailto:j.arango@excelec.com)  
(+57) 301 337 4970; (+604) 301 2222

**Palabras clave** — API, caso de uso, disponibilidad, interoperabilidad, arenera, SGAM, STS

### Resumen

El suministro de energía renovable con Soluciones Solares Fotovoltaicas Individuales en Zonas No Interconectadas (ZNI) presentan el reto de integrarlas comercial y técnicamente a la estructura y procesos de los operadores y del Estado. Para lograr la solución óptima se diseñaron cinco topologías de solución tecnológica que se implementaron en un entorno tipo *sandbox*, lo cual permitió determinar aspectos claves de interoperabilidad y ciberseguridad. Las funcionalidades de la solución se estructuraron a partir del esquema comercial definido para las ZNI que, además de medir variables eléctricas en corriente alterna y directa, requirió definir mecanismos para medir la disponibilidad basada en tiempo [t], además del consumo [kWh], concepto poco común en el sector eléctrico, lo cual incrementó la complejidad durante el

diseño. El resultado es una solución práctica y nueva para el sector eléctrico con el valor agregado de facilitar la supervisión, operación y mantenimiento con criterios de sostenibilidad.

## 1. Introducción

En Colombia existen, aproximadamente, 500.000 viviendas sin servicio de energía eléctrica y el Gobierno Nacional se ha propuesto la universalización del servicio a 2030 (UPME, 2019). En este sentido, el Grupo EPM tiene establecida la MEGA de lograr a 2025 el 100% de cobertura en el servicio de energía y dado que se cuenta con zonas rurales aisladas en el área de cobertura del grupo empresarial, donde ambiental, técnica y económicamente no es viable prestar el servicio de manera convencional con la expansión de la red eléctrica, urge la necesidad de contar con soluciones alternativas.

Las microrredes son atractivas para usuarios agrupados y poco dispersos (>25 viviendas), pero para aquellas regiones donde los usuarios se encuentran alejados entre sí y no cuentan con una red de distribución local (red convencional), es probablemente más conveniente usar soluciones individuales (UPME, 2019), es decir, cada vivienda cuenta con un sistema de generación que alimenta sus electrodomésticos o cargas en general. Para Colombia, la fuente renovable más atractiva para soluciones individuales es la energía solar fotovoltaica por su facilidad de instalación, por el potencial de radiación solar a lo largo del país y por la disminución de sus costos en los últimos años. Sin embargo, este tipo de soluciones requieren de un almacenamiento, lo cual incrementa los costos de la solución, pero garantiza la estabilidad y firmeza en la energización de los usuarios (*dispatchable*). Adicionalmente, la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) ha emitido recientemente regulación que motiva la masificación de esta clase de sistemas (CREG 2020a; CREG, 2020b).

En la sección II se presenta el problema y oportunidad para lograr llevar soluciones energéticas sostenibles en ZNI, en la sección III se presentan las metodologías empleadas, en la sección IV se describe la solución desarrollada, en la sección V los resultados obtenidos y, finalmente, las conclusiones.

## 2. Presentación del problema y oportunidad

Por otra parte, para supervisar y monitorear estas soluciones es necesario identificar un mecanismo para el transporte de la información de forma bidireccional. Sin embargo, si se emplean soluciones con telecomunicaciones, el sistema podría ser inviable económicamente por los costos asociados a la transmisión de estos datos, o no factible técnicamente porque algunas ZNI no cuentan con cobertura a nivel de comunicaciones. A partir de vigilancias tecnológicas y estratégicas, se realiza el diseño de una solución *low-cost* para ZNI y que considera los elementos básicos de generación de un *proyecto tipo* definidos en DNP (2016) y en los lineamientos de la Circular 040 de la CREG (2021), con la salvedad de que el diseño debe garantizar un aspecto relevante de las redes inteligentes (*smart grids*): la interoperabilidad. Esta interoperabilidad debe responder a cada una de las reglas comerciales definidas en el caso de negocio y el esquema de operación y mantenimiento, más allá de buscar una solución *off-the-shelf* y propietarias, donde la operación comercial trata de ajustarse con las limitaciones que esto implica y que pueden encarecer notablemente las soluciones tecnológicas a posteriori.

La política y regulación colombiana ha venido realizando lineamientos para la prestación del servicio en ZNI y sus mecanismos de remuneración (CREG, 2020b; DNP, 2016; CREG, 2021; MME, 2020). Sin embargo, estos conceptos deben materializarse técnica y comercialmente, con el reto de lograr encontrar soluciones interoperables y agnósticas tecnológicamente, que sean perdurables en el tiempo y permitan la integración de distintas zonas y regiones bajo un mismo esquema, especialmente en empresas como EPM que cuenta con distintas filiales, geografías y tipos de usuarios. Estas soluciones agnósticas e interoperables permitirán al Grupo EPM o *utilities* en general llevar soluciones sostenibles a sus áreas de influencia y que logren la descarbonización en dichas regiones que utilizan sustitutos contaminantes para suplir sus necesidades energéticas, tales como querosene, carbón, leña o pellets, parafina, entre otros. Adicionalmente, el uso de la refrigeración en ZNI permitirá la conservación de los alimentos, reducir sustancialmente su desperdicio, y mejorar significativamente la seguridad alimentaria, lo cual conlleva a reducir riesgos de contaminación y proliferación de enfermedades (Procolombia, 2014). Adicional a lo anterior, el esquema de sostenibilidad se centra en el buen funcionamiento de este desarrollo toda vez que, de acuerdo con la regulación vigente y los lineamientos del Ministerio de Minas y Energía (MME, 2020), la remuneración de estos sistemas tendrá como base la confiabilidad en la disponibilidad del servicio.

### 3. Metodologías para la elaboración de la solución

Para el desarrollo de la solución propuesta para ZNI se utilizaron dos enfoques: Uno para obtener las necesidades estratégicas de la organización y otro para la

identificación de funcionalidades en ámbito técnico y comercial.

*Enfoque Intelligrid.* Con el objetivo de tener un enfoque integral para la definición de las necesidades y requisitos del sistema, los principios de diseño para el intercambio de información, la integración de sistemas y el uso de estándares para la industria de sistemas de energía, se adoptó el marco de referencia *Intelligrid* (IEC, 2019), el cual consiste en un enfoque *top-down* comenzando con las necesidades del negocio, la visión estratégica, el enfoque táctico y, finalmente, los estándares, las tecnologías y las mejores prácticas recomendadas.

A nivel comercial, en concordancia con la parte técnica, se realizó el diseño del caso de uso bajo la metodología IEC 62559. Para este caso de uso se estableció un *sandbox* basado en el ámbito regulatorio y normativo, que mantiene la filosofía dada por propuestas nacionales a nivel de areneras regulatorias para el sector energético colombiano y recursos energéticos distribuidos (DER) (MINCIT, 2021; MME, 2021), incluso los lineamientos de los casos de uso a nivel internacional dados por ISGAN en su *casebook* (ISGAN, 2019), con la particularidad de que en una misma instalación pueden convivir distintas topologías, además de que permite definir y determinar el cómo materializar la regulación nacional.

*Enfoque Agile.* Bajo esta metodología se determinaron tres (3) *releases* para cada topología, con sus respectivas épicas-*features*. Finalmente, se mapearon los riesgos durante el desarrollo de la solución. Además, se emplearon recursos de innovación abierta y nuevas metodologías ágiles, empleando SCRUM e *inceptions* para cada componente técnico sin perder de vista la visión holística de la capa de negocio (Planio, 2019).

## 4. Descripción De La Solución Tecnológica

Las soluciones diseñadas e implementadas incluyen cinco (5) topologías que abarcan cada una el Sistema Individual Solar Fotovoltaico (SISFV) y los sistemas de medida, lectura y facturación. Esta solución, que tiene su énfasis en sus componentes de supervisión y control, fue validada rigurosamente a nivel *sandbox* con la participación y socialización a las diferentes filiales de Grupo EPM.

La arquitectura diseñada mezcla un medidor prepago no convencional con una coordinación comercial de pospago para identificar disponibilidad de la solución orientada a la electrificación. A su vez, se requirió caracterizar el comportamiento de la solución (SISFV+Batería) y el dimensionamiento de las cargas, es decir, el perfil de cargas para diferentes patrones de uso -kit-, entre otros aspectos. El desarrollo tecnológico en el *sandbox* pretende mitigar los impactos sociales y ambientales en ZNI, minimizar pruebas e integraciones con miras a la interoperabilidad y ciberseguridad, generar recomendaciones y permitir al proyecto de Cobertura del grupo empresarial tener

los insumos para su formulación y/o especificaciones técnicas, entre otros aspectos necesarios para habilitar la oferta. Incluso, este desarrollo permitió descartar otras soluciones a nivel técnico o ciertas características puntuales. De hecho, no sería posible detectar lo anterior sin concebir el *sandbox* a nivel de la organización desde una óptica de *Smart Grids*.

La solución solar fotovoltaica se implementó en una de las sedes de EPM, con el fin de simular y configurar el ambiente de una ZNI, siendo el *sandbox* el espacio propicio para la realización de pruebas técnicas y comerciales. Así, se monitorea el comportamiento de la solución per se, y de aquellas funcionalidades que complementan el diseño de la oferta comercial, incluyendo el diseño de los procesos.

### 4.1 Sistema de generación y potencia.

El sistema solar implementado para la prueba de la solución se compone básicamente de los componentes que se muestran en la **Figura 1**. Para caracterizar los usuarios y las cargas típicas requeridas en las principales zonas de influencia del Grupo EPM en

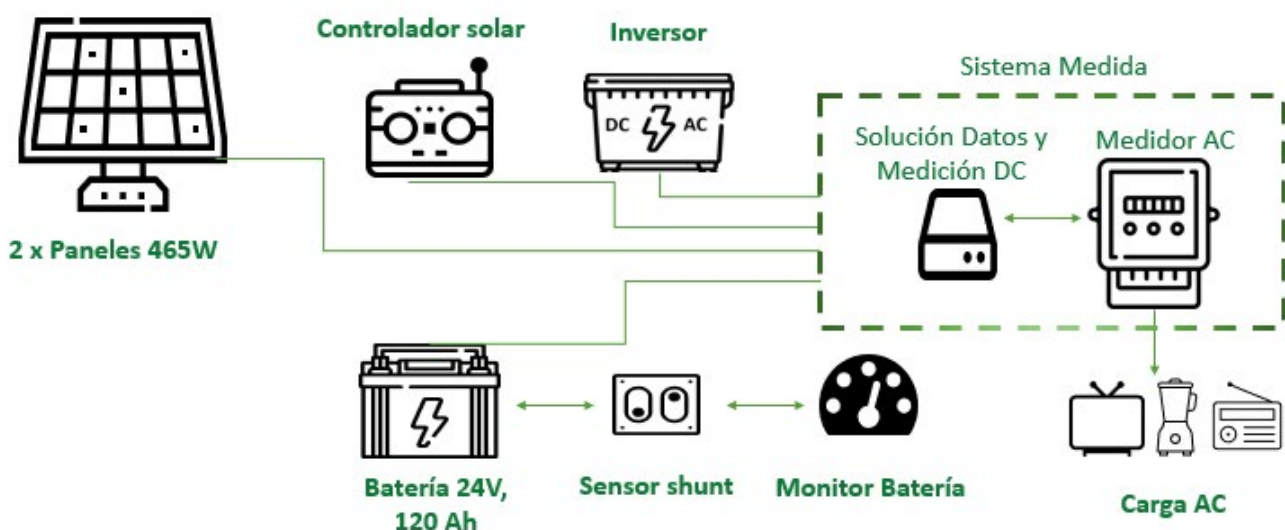


Figura 1. Overview de componentes a nivel de potencia.

CARGAS DE USUARIO FINAL EN ZNI					
Ítems	Und	Potencia [W]	Potencia [W]	Horas uso-día	Consumo [kWh/mes]
LED	4	8	32	6	5.76
Licuadaora	1	350	350	0.1	1.05
Nevera	1	110	110	6	19.8
Tomas	3	90	270	4	32.4
Audio	1	25	25	3	2.25
TV	1	60	60	6	10.8
Ventilador	1	50	50	5	7.5
<b>Total (+15%)</b>					<b>91.494</b>

Tabla 1.

Colombia, se tomó como base los usuarios del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en estratos 1 a 3, lo cual permite identificar una necesidad cercana a 1000Wp instalado, y que está alineado con lo estipulado por las instalaciones tipo del DNP (2016) (Ver **Tabla 1**).

La solución cuenta con un sistema de medida el cual realiza la gestión para la medida, el cobro, el cálculo de disponibilidad, la detección de fallas y brinda herramientas para el transporte de esta información al centro de gestión.

#### 4.2 Solución de lectura/medida/facturación (topologías).

La solución de lectura/medición/facturación se definió integralmente, tal y como se muestra en la **Figura 2 (a)**, donde el componente A corresponde a tres (3) tipos de sistemas de medida implementados para las pruebas, además de los componentes de interfaz de usuario y lector de tarjeta inteligente (embebidos/externos) de la **Figura 2 (b)**.

Para la estandarización de la solución se homologó el tratamiento de la información y las topologías del sistema. De la **Figura 2 (a)**, el componente B corresponde a la tarjeta inteligente sin contacto que contiene el mapeo de la información que se va a almacenar y a transportar hasta los aplicativos. La información almacenada debe ser aquella que permita el cumplimiento de la regulación y normatividad, entre la que se encuentra la listada en la **Tabla 2**. La solución completa en sus características técnicas garantizadas está compuesta por más de 120 características técnicas.

El componente C1 corresponde al lector, que permite la lectura/escritura de la tarjeta a través de la interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) definida en C2. El componente C2 es la API, la cual ofrece a los diferentes agentes de venta las operaciones para lectura/escritura de la tarjeta, entre las cuales están: lectura/captura de la información estadística del medidor y escritura de token de recarga basado en el estándar STS (*Standard Transfer Specification*). El componente D es la aplicación que simula el centro de procesamiento de las empresas como los canales de venta para recargas. Por su parte, el componente E es el datáfono, que se utiliza para las operaciones de lectura/



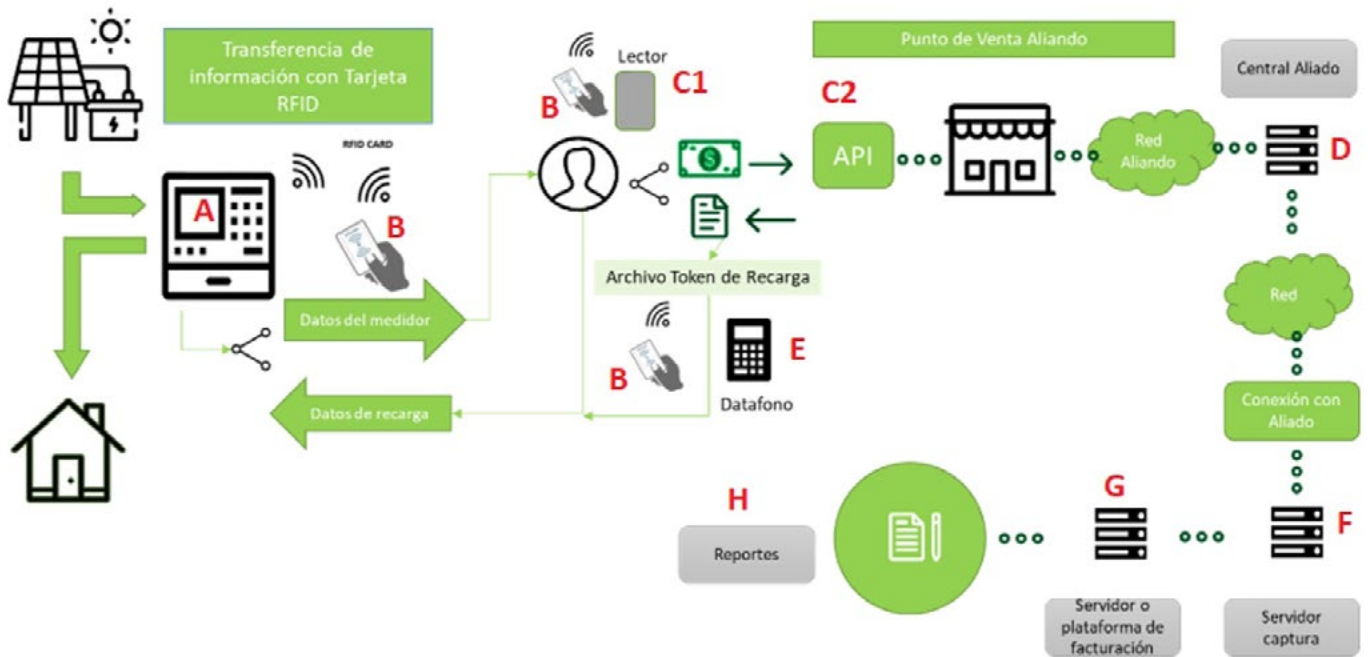


Figura 2 (a). Esquema general de arquitectura.



Figura 2 (b). Topologías de campo.

CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE INFORMACIÓN	
Características técnicas	
Medición de Energía activa y variables eléctricas como voltaje y corriente en batería, panel y carga.	Eventos y alarmas asociados al funcionamiento del medidor y equipos externos.
Medición de indisponibilidad en un periodo de tiempo.	Parametrización de tiempo mínimo de indisponibilidad para el registro.
Interoperabilidad y ciberseguridad de equipos de campo y punto aliado (construcción de perfil).	Levantamiento de perfil de carga (Validar capacidad).
Detección pérdidas (anti-tampering).	Disponibilidad del sistema [t].
Tokens técnicos y reglas comerciales.	Otras señales adicionales asociadas a fallas eléctricas.

Tabla 2.

escritura de la tarjeta, entre las cuales están: lectura/captura de la información estadística del medidor y escritura de *token* de recarga basado en el estándar STS y las operaciones de *vending* relacionadas con la recarga.

El componente F es el servidor de captura, que es la aplicación que recolecta e interpreta/transforma la información recibida de la tarjeta. El componente G es el servidor o plataforma que simula el sistema de facturación y provee el *token* STS relacionado con la recarga. El componente H corresponde a los reportes, que son formatos requeridos para presentar la información estadística de disponibilidad y otros requeridos por la regulación y conocimiento de operación de la solución en ZNI.

### 4.3 Concepto de Disponibilidad

La importancia de la disponibilidad es que, a diferencia de la medición tradicional de energía, el concepto aplicado en este caso es medir el tiempo durante el cual se le ha presado el servicio al usuario. La forma de medirlo está basada en la medición del tiempo durante el cual hay presencia de tensión (voltaje) en la red eléctrica donde el usuario pueda disfrutar del

servicio, cuya normatividad vigente define aspectos a considerar para el cálculo (CREG, 2022).

### 4.4 Arquitectura: SGAM y casos de uso

Para la definición y desarrollo del caso de uso se hizo uso del marco de referencia SGAM (*Smart Grid Architecture Model*) buscando lograr, a través de este, un enfoque de arquitectura interoperable y tecnológicamente neutral que facilite la implementación de la solución, la convergencia TI/TO e interacción con otras tecnologías existentes en el mercado, así como también con los sistemas legados en la arquitectura empresarial. De acuerdo con lo ilustrado en la **Figura 3 (a)**, se parte de manera inicial con el análisis y desarrollo del *Business Case*.

El caso de negocio una vez desarrollado brinda los insumos necesarios para la construcción y definición del esquema del caso de uso que satisface de la mejor manera posible los objetivos que se desean alcanzar, identificando en este el alcance del sistema, sus funcionalidades, los actores y sus interrelaciones como se observa en la **Figura 3 (b)**, cada uno de los componentes del caso de uso desarrollado representa un

elemento clave que debe permitir materializar de manera adecuada las funciones que alberga.

La descripción y descomposición rigurosa de los casos de uso conllevaron a la identificación de las funcionalidades que los integran y sus diferentes interacciones, insumos clave que permiten una apropiada selección y determinación de los casos de prueba aplicables para validar su operación y conformidad. En la **Figura 3 (b)** se observa cómo los casos de prueba son relacionados con el caso de uso (recuadros amarillos), y así establecer las interrelaciones entre actores y funcionalidades con las pruebas a realizar, y cómo estas deben ser aplicadas en el marco del *Sandbox* tecnológico de EPM.

Cada uno de los casos de uso es desarrollado en detalle en la capa de funciones a través de su descomposición y descripción a nivel de funcionalidades base o casos de uso tipo primarios que lo conforman. Tal descomposición se realiza con la esquematización de los casos de uso primarios como se ve en la **Figura 4**, acompañada de la representación gráfica de la

interacción las funciones asociadas al caso de uso en un diagrama de actividades. En la **Figura 4** y **Figura 5** se ilustran la descomposición de los casos de uso denominados “Intercambio de datos de medición” y “Control de carga” respectivamente, marcados como B y C en la **Figura 3 (b)**.

Para el HLUC “Control de carga”, la **Figura 5** representa el diagrama de actividades que describe el flujo del proceso que es llevado a cabo por cada actor para que una acción de conexión (CX), desconexión (DX) o limitación (LM) del suministro de energía se desarrolle adecuadamente según las reglas del negocio definidas para la operación de la solución.

### 4.5 Interoperabilidad y solución agnóstica

Así como en la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) se carece de soluciones totalmente agnósticas a proveedores de medidores, HES (*Head End Systems*)

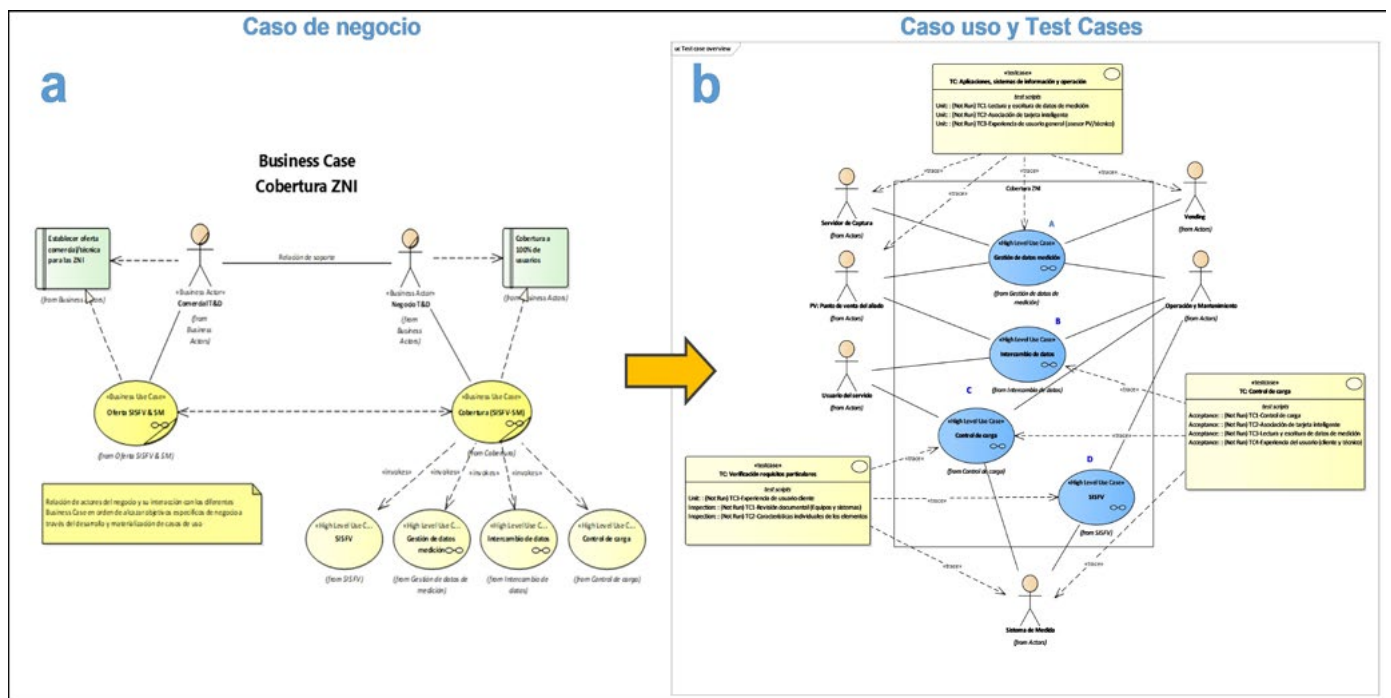


Figura 3 (a). Desarrollo Business Case, (b) Use Case y Test Case.



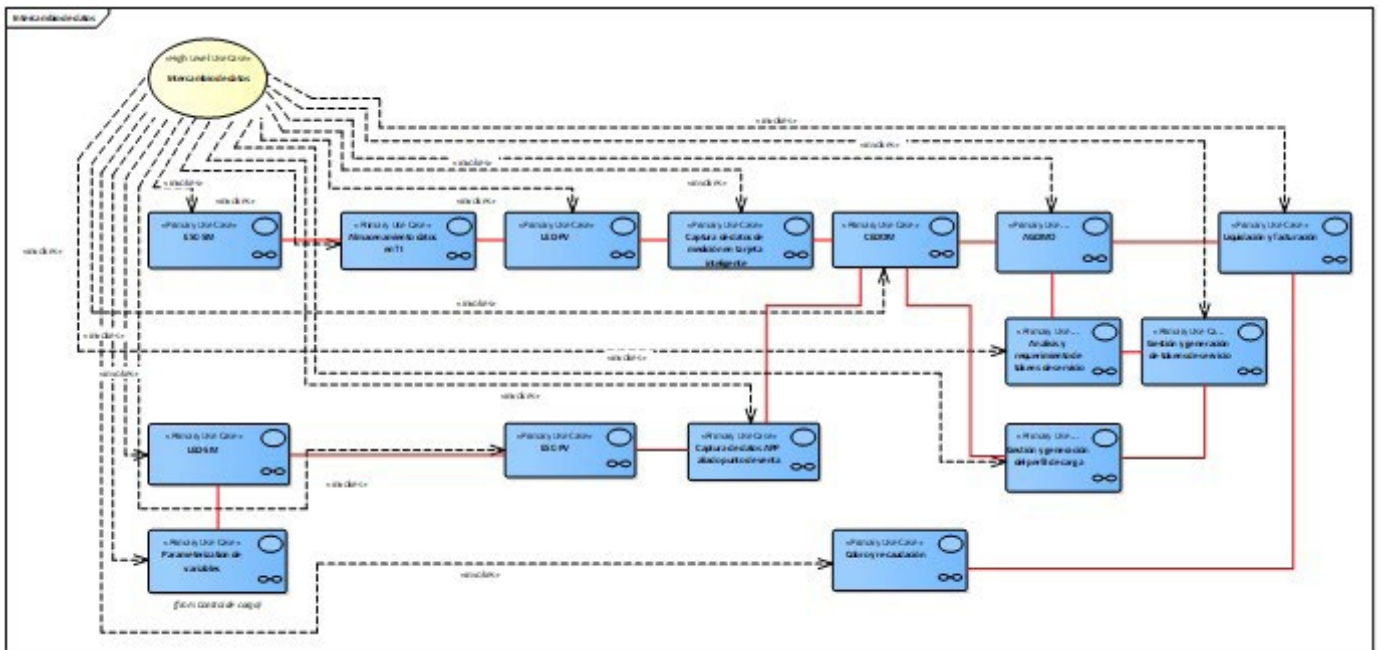


Figura 4. Descomposición en casos de uso primarios (HLUC) "Intercambio de datos de medición".

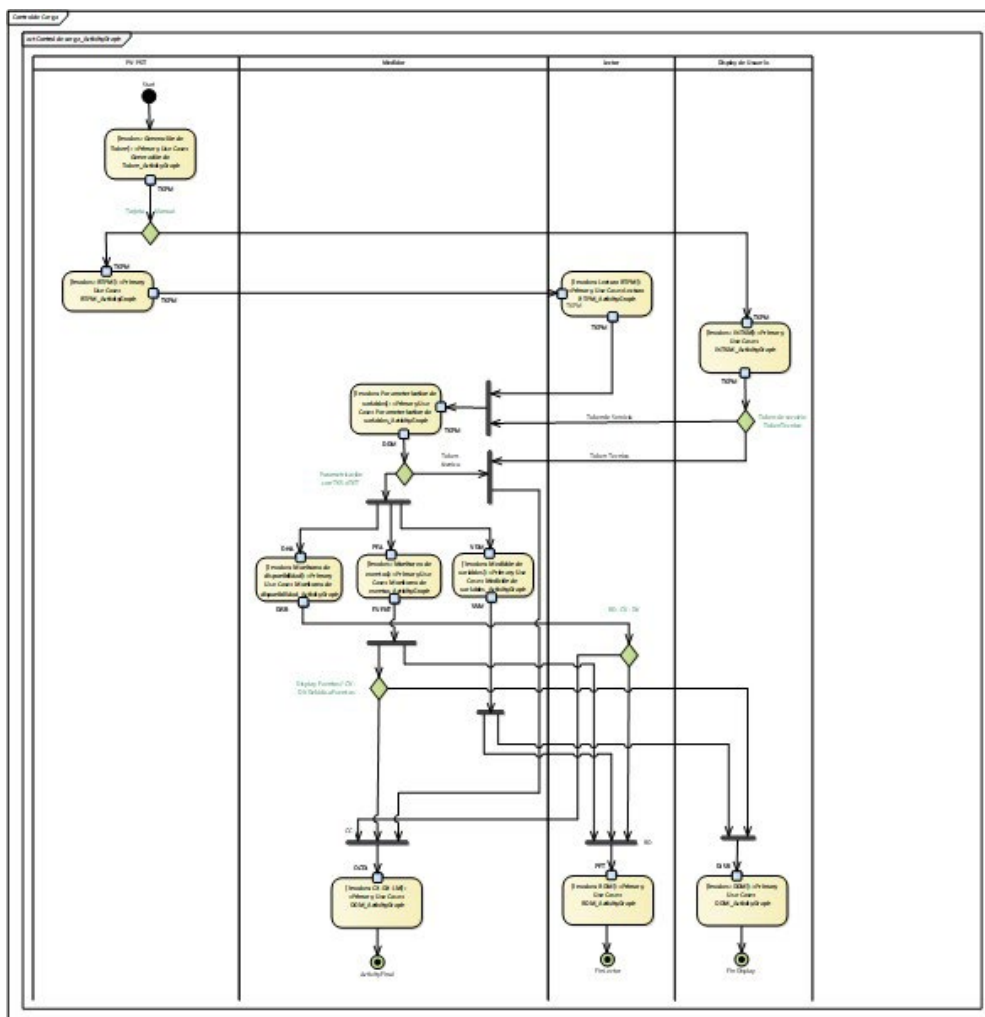


Figura 5. Diagrama de actividades (HLUC) "Control de carga".

y/o MDM (*Meter Data Management*), ya que no existen perfiles 100% ajustados y validados en el mercado, en particular en el mercado colombiano, lo que ha dificultado técnicamente superar los *vendor lock-in* en este tipo de implementaciones, esta solución desarrollada para las ZNI precisamente aborda la importancia de la interoperabilidad desde su concepción y diseño. Lo anterior, permitirá a *utilities*, tales como las del Grupo EPM, poder empezar a interiorizar este concepto para que los procesos de O&M sean sostenibles y, además, poder convivir con diferentes tipos de componentes del *stack tecnológico* independiente de su *manufacturer*. En la **Figura 6** se muestra cómo conceptualmente este tipo de soluciones permite a las *utilities* tener una flexibilidad en la gestión de SSFI en ZNI desde su abastecimiento hasta su O&M.

#### 4.6 Nuevo esquema comercial

Estas soluciones requieren de un esquema comercial diferenciado, ya que, durante más de 100 años, el sector eléctrico se ha caracterizado por estar basado en unidades de consumo de energía eléctrica, mientras que otros sectores económicos evolucionan e introducen distintas formas de proveer servicio a partir de otros mecanismos de lectura y medición. En la **Figura 7** se recogen algunas formas de realizar este proceso en otros sectores, siendo esta modalidad (tiempos con o sin kWh) una opción disruptiva pero totalmente viable para apalancar estas soluciones en su caso de negocio y lograr llevar calidad de vida a estas regiones.

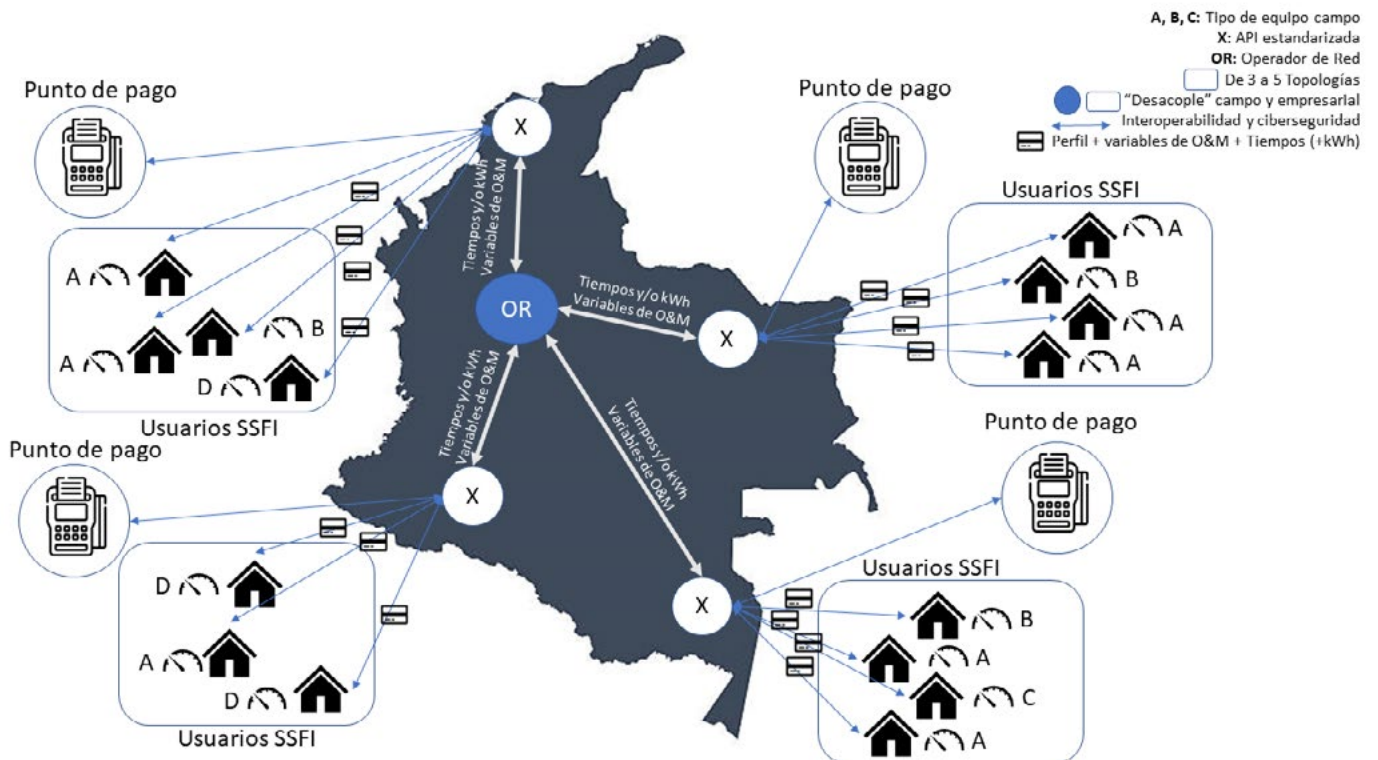


Figura 6. Overview de diseño interoperable para soluciones en ZNI.

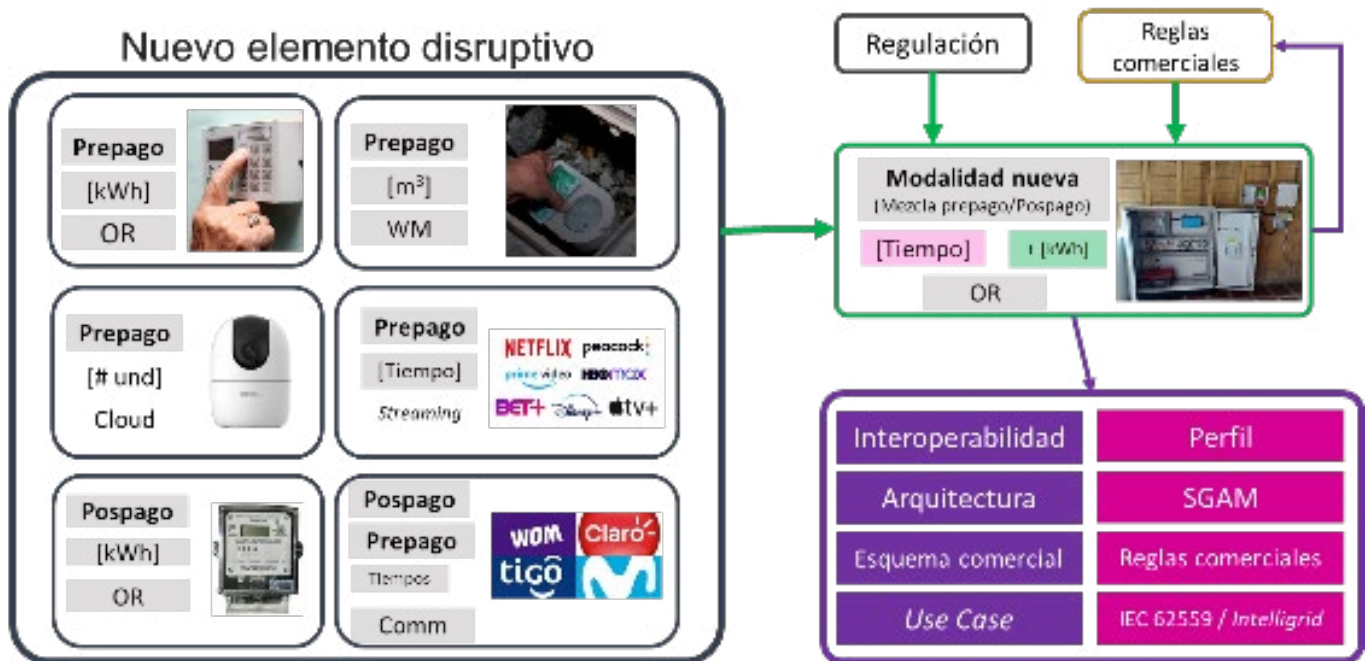


Figura 7. Modalidades para esquemas comerciales.

## 5. Resultados

En la **Tabla 3** se muestran los agrupadores de las pruebas realizadas en el *sandbox*. A nivel operativo, se realizaron cerca de setenta y dos (72) pruebas funcionales al sistema, con un cumplimiento de topología 3 del 100% de verificación exitosa. Por su parte, en la **Figura 8** se muestran algunas interfaces de software de algunos de los elementos de la solución para el cálculo de disponibilidad (desde 1 min) y el  *vending*  de tiempos. En este caso se presenta un cálculo de disponibilidad basado en medición de tiempo, sin embargo, el sistema también permite realizar dicho cálculo con medidas de energía [kWh]. Un resultado importante es que la solución se basó en estándares de industria, lo que permite garantizar una mayor robustez y madurez en el diseño de la solución.

La importancia del diseño basado en interoperabilidad es lograr reducir el costo de las integraciones entre los componentes de un sistema. En ZNI, cualquier esfuerzo económico adicional tendrá una in-

cidencia directa en la viabilidad del proyecto y, por ende, se vuelve un factor determinante para llevar este tipo de soluciones a regiones más vulnerables, donde el caso de negocio es complejo en todas sus dimensiones. Dentro de las *Smart Grids*, el *National Institute of Standards and Technology* (NIST) define los niveles de interoperabilidad, siendo la premisa del *Plug and Play* y mínimamente el *middle level* el marco de actuación de esta solución (SISFV/Medida/Punto de pago) (Gopstein et al., 2021).

En la **Figura 9** se muestran algunas de las topologías físicas implementadas en el *sandbox*, que fueron objeto de pruebas. La **Tabla 4** muestra un comparativo de este tipo de soluciones respecto a una solución con combustibles fósiles. Allí no se incluye la huella de carbono por las correrías evitadas debido a la solución de medida, ya que no se requieren mensualmente, a excepción de solo dos (2) veces al año por tema normativo y política interna. Lo anterior, demuestra la importancia de la supervisión y control de estos sistemas de forma económica y constante para garantizar

No	Grupo de prueba	Objetivo	Casos de prueba	No	Grupo de prueba	Objetivo	Casos de prueba
1	A1. Sistema de Medida	Probar las características técnicas y operativas asociadas con el sistema de medición de la solución.	7	8	G. Sistema de Facturación	Validar la correcta simulación del servidor o plataforma de facturación y que provea los tokens STS relacionados con la recarga de forma correcta y oportuna	5
2	B. Tarjeta Inteligente	Probar las características técnicas y funcionales asociadas al uso de la tarjeta inteligente para la realización de recargas y captura de información estadística del sistema de medición.	12	9	H. Reportes	Validar los requerimientos asociados a los reportes, formatos requeridos para presentar la información estadística de disponibilidad y otros requeridos por la regulación y conocimiento de operación de la solución en ZNI.	1
3	C1. Lector de Tarjeta	Verificar la operación de lectura y escritura de los datos de medición	5	10	I. Com y Seguridad	Verificar los requerimientos de comunicaciones, seguridad y ciberseguridad asociados a la operación de la solución del caso de uso de cobertura	6
4	C2. API	Probar la instalación/operación de la API, revisión de métodos de lectura/escritura de la tarjeta inteligente RFID	8	11	J. Proveedor	Verificar el cumplimiento de requisitos asociados a la gestión del proveedor de la solución bajo prueba, como capacitación, soporte, entrega de muestras para ensayo.	3
5	D. APP	Simular el centro de procesamiento de las empresas canales de venta para recarga, de forma que posibilite validar la información expuesta por la API y que es consumida por la APP.	2	12	K. Infraestructura	Verificar el cumplimiento de requisitos asociados a la infraestructura necesaria para habilitar la operación de la solución	2
6	E. Datafono	Verificar la operación de recarga a través del uso de datafono en el punto de venta del aliado proveedor.	9	13	M. Solución Completa	Verificar la correcta operación del conjunto de componentes que integran la solución, validando el desempeño funcional a través de pruebas integrales de la operación completa del caso de uso.	10
7	F Servidor de Captura	Validar la comunicación con los puntos de recarga y con la plataforma de generación de tokens, interpretación información, licencias de uso y funcionalidades asociadas.	5				

Tabla 3. Agrupadores Test Report.

la sostenibilidad de la misma, aspecto que en soluciones convencionales no se tiene en cuenta y que afecta la calidad en la prestación del servicio.

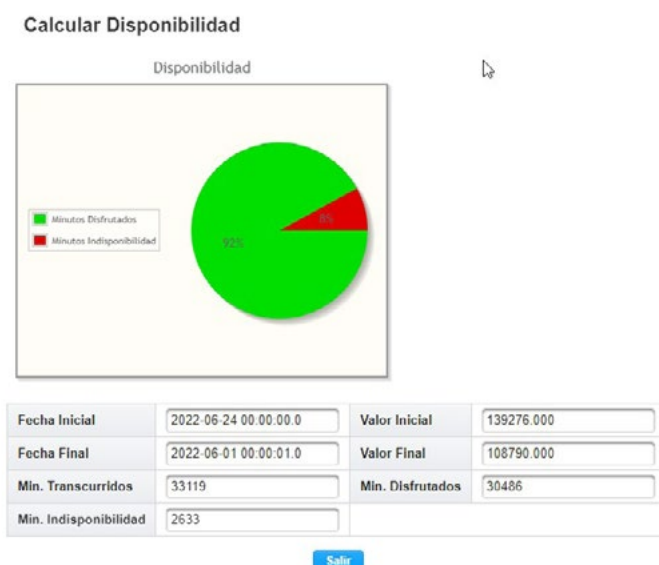


Figura 8 (a). Interfaces para el cálculo.

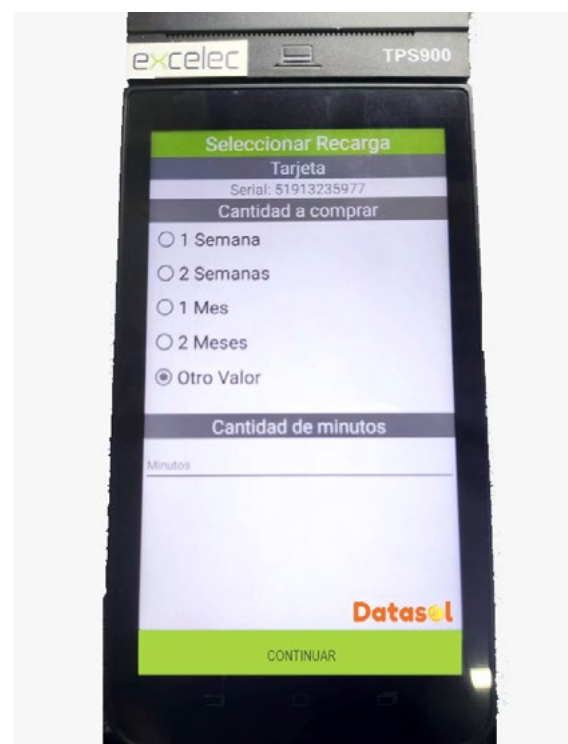


Figura 8 (b). Interfaces para vending de tiempos la solución.



El coeficiente de emisión país con el SIN es de 164.38gCO<sub>2</sub>eq/kWh (XM, 2020), mientras que un sistema fotovoltaico puede estar cercano a 50gCO<sub>2</sub>eq/kWh (Silva & Lerche, 2019), lo que implicaría por vivienda una disminución de 4.575,2gCO<sub>2</sub>eq-mes por vivienda (consumo mínimo de 40kWh-mes), teniendo en cuenta que existe una población cercana a las 500.000 viviendas sin servicio de energía. Lo anterior está solo relacionado con una prestación del servicio convencional, mientras que, si se compara con los combustibles fósiles y la huella de carbono para los sustitutos energéticos, se obtendrá una diferencia de emisiones de efecto invernadero mucho mayor. Para que lo anterior sea factible técnicamente y viable económicamente, lo primero es que la solución completa (sistemas y proceso) se estructuren adecuadamente, desde aspectos de interoperabilidad hasta los mecanismos comerciales para el reconocimiento de CAPEX y OPEX por subsidios u otros fondos que apoyan el despliegue en ZNI. Se debe destacar que el sistema propuesto tiene su principal carácter innovador en el sistema de lectura, medida, supervisión y control estandarizado.



Figura 9. Sistema implementado y probado en el sandbox de EPM.

Este tipo de soluciones permitirá a empresas prestadoras del servicio público en ZNI poder operar y mantener este proceso desde el abastecimiento hasta

los procesos de operación y mantenimiento, incluyendo actividades de lectura, medida y facturación independiente de agentes que provean el *stack* tecnológico, lo que facilitará el despliegue de las mismas en diversas regiones (conexas o no), y evitar el denominado *vendor lock-in*. De hecho, se logró diseñar un perfil de datos e información que permite a las empresas que hagan uso de estos, conocer la forma en cómo se gestiona, almacena y transporta la información, considerando siempre la tríada de ciberseguridad. Este perfil permitirá no solo gestionar el consumo y/o disponibilidad de las soluciones de cara al usuario, sino una mayor velocidad de respuesta ya que se reportan aspectos técnicos de operación de las SSFI en AC y DC, empleando equipos certificados y robustos, además de emplear protocolos estándares que permiten desacoplar equipos de medida de los sistemas de información.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

La solución diseñada e implementada se caracteriza por garantizar la interoperabilidad en la transmisión y el modelado de datos que se requiere para la toma de decisiones del negocio, teniendo en cuenta que se parte de la premisa que las soluciones se implementarán en sitios donde no hay cobertura de señal de comunicaciones, pero que sea funcional y costo eficiente. Sin embargo, esta solución *end-to-end* vela por la disponibilidad del servicio, la supervisión y gestión de los datos bajo una arquitectura agnóstica, la cual fue desarrollada bajo estándares de industria y modelada bajo SGAM.

Este tipo de soluciones darán sostenibilidad a los SISFV que se implementen en el Grupo EPM y bajo



DESCRIPCIÓN	SISTEMA SOLAR	PLANTA ELÉCTRICA
Potencia	1.2kW	1.2kW
Consumo gasolina	N/A	6 litros
Autonomía	>5 horas	5horas
Emisión CO2	~60g/kWh	Gasolina (1l = 2.37kgCO2)
Emisión aprox. [5h]	300gCO2	14.22kgCO2 (6l)

Tabla 4.

los criterios de interoperabilidad que se han mantenido durante el desarrollo, lo que a su vez garantizará la trascendencia tecnológica de la solución.

La metodología empleada fue consistente con los resultados obtenidos, de forma que se garantizaría la competitividad de las empresas del Grupo EPM en la instalación y operación de SISFV en ZNI. La masificación tecnológica de esta solución redundará en la descarbonización, toda vez que, de acuerdo con la regulación vigente, se favorece la promoción de sistemas solares fotovoltaicos, los cuales son amigables con el medio ambiente, evitando el consumo de sustitutos energéticos como los combustibles fósiles en una gran cantidad de hogares que aún no están electrificados.

## 7. Reconocimientos

Esta solución fue desarrollada gracias a la articulación y trabajo colaborativo de diferentes departamentos de EPM (Gerencia Comercial T&D, Gerencia Trébol, Comercial, TI, Generación Energía, y filiales del Grupo EPM, entre otros) junto con el apoyo de un aliado como Excelec.

## 8. Referencias

- [1] UPME (2019), “Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica PIEC 2019-2023,” [http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Informacion\\_Base\\_PIEC\\_Dic302019.pdf](http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Informacion_Base_PIEC_Dic302019.pdf).
- [2] CREG (2020a), “Resolución 137: Por la cual se define la fórmula tarifaria general para establecer la remuneración de la prestación del servicio de energía eléctrica mediante Soluciones Individuales Solares Fotovoltaicas”.
- [3] CREG (2020b), “Resolución 166: Por la cual se define una tarifa transitoria para el servicio de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas”.
- [4] DNP (2016), “Proyecto tipo solar: Instalación celdas solares en zonas no interconectadas”, [https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=136&Itemid=213](https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=136&Itemid=213). Departamento Nacional de Planeación.

- [5] CREG (2021), “Circular 040: Desarrollo de un modelo de cálculo para la determinación del costo eficiente de la prestación del servicio de energía eléctrica a través de la atención a usuarios mediante soluciones aisladas centralizadas o individuales”.
- [6] MME (2020), “Resolución 40296: Por la cual se reglamenta transitoriamente el otorgamiento de subsidios para el servicio público de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas mediante Soluciones Solares Fotovoltaicas Individuales con potencia mayor a 0,5 kW”. Ministerio de Minas y Energía.
- [7] Procolombia (2014), “Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia,” [https://procolombia.co/sites/all/modules/custom/mccann/mccann\\_ruta\\_exportadora/files/06-cartilla-cadena-frio.pdf](https://procolombia.co/sites/all/modules/custom/mccann/mccann_ruta_exportadora/files/06-cartilla-cadena-frio.pdf).
- [8] IEC (2019). “IEC 62559-1, Use case methodology - Part 1: Concept and processes in standardization”.
- [9] MINCIT (2021), “Decreto 1732: Por el cual se reglamenta el artículo 5 de la Ley 2069 de 2020, en relación con los mecanismos exploratorios de regulación para modelos de negocio innovadores en industrias reguladas y los ambientes especiales de vigilancia y control o sandbox regulatorio,” Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- [10] MME (2021), “Proyecto Resolución por la cual se establecen lineamientos para la incorporación de los recursos energéticos distribuidos y el desarrollo de areneras regulatorias”.
- [11] ISGAN (2019), “Casebook: Innovative Regulatory Approaches with Focus on Experimental Sandboxes,” Smart Grid Case Studies. [www.ica-isgan.org](http://www.ica-isgan.org).
- [12] Planio (2019), “A Guide to User Story Mapping: Templates and Examples (How to Map User Stories,)”, [plan.io/blog/user-story-mapping/](https://plan.io/blog/user-story-mapping/).
- [13] CREG (2022), “Resolución 701-001, Soluciones individuales solares fotovoltaicas”.
- [14] Gopstein, A., Nguyen, C., O’Fallon, C., Hastings, N. and Wollman, D. (2021), “NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 4.0,” Special Publication (NIST SP), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, [online], <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r4>, [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=931882](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=931882).
- [15] XM (2020), “En Colombia Factor de emisión de CO2 por generación eléctrica del Sistema Interconectado: 164.38 gramos de CO2 por kilovatio hora,” <https://www.xm.com.co/>.
- [16] Silva & Lerche (2019), “Life cycle GHG emissions of renewable and non-renewable electricity generation technologies,” Part of the RE-Invest project. Report no.: OR.23.19. ISBN: 978-82-7520-806-2. ISSN: 0803-6659.