

PROYECTO RESOLVD: PENETRACIÓN DE RENOVABLES APALANCADA POR REDES DE BAJA TENSIÓN EFICIENTES

Joaquim Meléndez, Universitat de Girona
en representación del consorcio (*).

Resumen: RESOLVD (*Renewable penetration levered by efficient low voltage distribution grids*) es un proyecto de investigación financiado por el programa europeo H2020 (2017/20, LCE-01-2016-2017, Ref. 773715,) que tiene como objetivo construir un piloto de red de baja tensión inteligente y eficiente, con capacidad de operación y gestión energética local, que maximice la capacidad de generación renovable inyectable en dicha red y su consumo local. La operación consiste en posibilitar la conexión de líneas de baja tensión de diferentes centros con el propósito de evitar congestiones y variaciones de tensiones en episodios de alta generación o consumo. La gestión energética se realiza mediante baterías instaladas en el centro de transformación con el propósito de minimizar la importación de energía de la red. Pueden consultarse información del proyecto, consorcio, resultados y documentos asociados en el siguiente enlace: <https://resolvd.eu/>

Palabras clave: Redes inteligentes, *smartgrid*, baja tensión, generación renovable, baterías, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

RESOLVD (<https://resolvd.eu/>) es un proyecto de investigación del programa H2020 (2017/20, Ref. 773715, LCE-01-2016-2017) cuyo principal objetivo es construir un piloto de red de baja tensión inteligente y eficiente, con capacidad de operación y gestión energética local, que maximice la capacidad de generación renovable inyectable en dicha red y su consumo local. Se trata de gestionar la flexibilidad en la red de baja tensión en un contexto de alta penetración de generación renovable distribuida y con el propósito de:

- Maximizar el uso de la infraestructur actual a través de la gestión activa de energía y el balanceo a nivel de BT, incluyendo cierta capacidad de operación y almacenaje en dicha red.
- Reducir la incertidumbre de la planificación mediante el pronóstico de la demanda y generación y la aplicación de métodos de optimización robustos (considerando la incertidumbre en la predicción) para la planificación de la red.
- Mejorar la calidad del suministro (estándar EN 50160) actuando en la red de BT.
- Reducir pérdidas en el sistema mediante el consumo de energía producida localmente (paradigma de "km 0")
- Aumentar la capacidad de instalación renovable en baja tensión, facilitando la evacuación de la generación no consumida localmente.
- Disminución de la energía renovable no suministrada.
- Reducción del pico de demanda en los centros de transformación.
- Diseñar una arquitectura de red inteligente (Smart grid) de baja tensión segura y su implementación en un piloto real.

Se puede consultar la lista completa de requisitos que se derivan de dichos objetivos en (Entregable RESOLVD D1.2, 2018). El diseño del proyecto se ha realizado siguiendo el modelo de referencia SGAM, Smart Grid Architecture Model, (CEN CENELEC, 2012), (CEN-CENELEC-ETSI, 2014) en su totalidad, desde especificaciones hasta el diseño utilizando la SGAM ToolBox para ello. Se ha procedido al mapeo de casos de uso en los cinco niveles de interoperabilidad SGAM (negocio, funcional, información, comunicación y componentes) posterior a la identificación de actores (Tabla 1) sobre el plano dominio-zona de SGAM (Entregable RESOLVD D1.2, 2018).

RESOLVD introduce la operación de la red de baja tensión sobre dos elementos: interruptores, para la interconexión de líneas con el propósito de cambiar la configuración de la red; y baterías, instaladas en centros de transformación para que almacenen o inyecten energía a la red. La interconexión de líneas de baja tensión, de diferentes centros de transformación, tiene el propósito de evitar episodios de congestión y/o sobre/subtensiones (durante picos de generación renovable o de exceso de consumo). Por su lado, la gestión energética de baterías instaladas en centros de transformación permite minimizar la importación de energía de la red y maximizar el consumo local de energía renovable producida localmente. La gestión de la red se realiza de forma óptima a partir de la planificación diaria de consignas horarias de los interruptores de interconexión y de las consignas de carga/descarga de la batería. Dicha

optimización se realiza a partir de las predicciones de demanda y generación a nivel de consumidor (o prosumer). Las baterías se conectan a la red a través de convertidores con funciones avanzadas que, además, permiten proporcionar mejoras en la calidad de suministro (cancelación de armónicos y desbalance) y mejora de la eficiencia (compensación de reactiva, balance de fases, etc.). El proyecto aporta mayor observabilidad de la red con la instalación de sincrofasores en los centros de transformación, para una detección rápida de eventos y faltas o simplemente cambios bruscos en los flujos de potencia (conexión/pérdidas de carga o variaciones inesperadas de generación).

RESOLVD cuenta con una plataforma para la integración de los diferentes subsistemas que componen la solución, la gestión de datos de información y la conexión con los sistemas heredados que constituyen el centro de control de red de la compañía. La conexión de los elementos de campo se realiza a través de RTUs y los servicios software (predicción, optimización, detección y localización de fallos) se integran como servicios web a la plataforma, a través de protocolos estándares. En el diseño de todo el sistema se han tenido en cuenta criterios de ciberseguridad tanto en la interacción con los sistemas de gestión de la distribuidora existentes (SCADA, AMI, MDMS, GIS) así como en la interacción de los nuevos subsistemas para que opere en condiciones seguras y protegidas.

Consortio (*)

El proyecto, coordinado por la Universitat de Girona, cuenta con un consorcio de siete socios: Estabanel·l Distribució, distribuidora con responsabilidades en las especificaciones y diseño del piloto; Universitat Politècnica de Catalunya, Universidad al cargo del diseño de los equipos de electrónica de potencia y gestión de almacenaje en la red; Joaneum Research, centro de Investigación austríaco encargado de la ciberseguridad de todo el proyecto; Smart Innovation Norway, Centro de Innovación Noruego que establece las pautas de explotación y estudio de modelos de negocio asociados al proyecto y a las tecnologías desarrolladas; ICOM, Industria griega del ámbito TIC que lidera la integración y diseño de la plataforma de gestión de datos y servicios en el proyecto; Consensus, pyme eslovena encargada del diseño de sincrofasores y equipos de monitorización de calidad de onda. La Universitat de Girona, además de coordinadora, es responsable de los algoritmos de predicción, detección de fallos y optimización.

ARQUITECTURA RESOLVD

La arquitectura se ha desarrollado de acuerdo al estándar (ISO/IEC/IEEE42010:2011) que establece una metodología para la descripción de la arquitectura de los sistemas de software. Los casos de uso que establecen los requisitos del proyecto pueden consultarse en (Meléndez et al., 2019). La metodología SGAM se utilizó para identificar los diferentes actores (Tabla 1) y su interoperabilidad tanto a nivel físico (interconexión de dispositivos y redes de comunicación), como de aplicación (acceso a datos, computación e intercambio de información entre aplicaciones) y de negocio (coordinación de funciones de acuerdo a objetivos de negocio). La Figura 1 muestra los diferentes componentes que componen la arquitectura y sus dependencias (lista completa de actores en Tabla 1). Dada la heterogeneidad del origen de los datos (elementos de campo a través de remotas –RTUs-, sincrofasores –PMUs-, nuevos equipos de electrónica de potencia –PED- y almacenaje o los contadores inteligentes a través de la infraestructura avanzada de telecontadores –AMI-) se ha incorporado el diseño de una plataforma software para la integración que garantiza la interoperabilidad entre dichas fuentes de información, así como su acceso en condiciones de ciberseguridad. Los componentes más importantes de dicha plataforma son:

- 1) *Enterprise Service Bus (ESB)*: middleware de integración flexible para una arquitectura orientada a servicios (SOA) que permite cambios en los requisitos, así como fiabilidad y seguridad en la integración.
- 2) *Sistema de gestión de datos*: un aspecto importante de la integración es la accesibilidad a gran cantidad de datos generados por los numerosos dispositivos de campo y otras fuentes como sincrofasores y contadores. El sistema de gestión de datos garantiza una integración transparente a tecnologías y proveedores de datos heterogéneos, ofreciendo validación y garantizando su accesibilidad de forma homogénea y con garantías de calidad de servicio (QoS).
- 3) *El sistema de análisis y visualización de datos*: tiene como objetivo alojar algoritmos inteligentes, proporcionando los cálculos como un servicio a otras aplicaciones, al tiempo que presenta los datos almacenados o los resultados de los cálculos como un artefacto incorporable a otras aplicaciones.

En la Figura 1, se diferencia entre sistema heredados (azul) y los desarrollados en el proyecto (verde) o los servicios externos (gris). El primero incluye básicamente los sistemas clásicos de un centro de control de una distribuidora tales como: SCADA, GIS, MDMS, MDC (AMI HES), DCU, GM, SM, RTU, PFS, Switchgear (interruptores), sensores (a nivel de

subestación) y el DMS. Un componente del Servicio Meteorológico se identifica como un servicio externo, mientras que los elementos desarrollados en RESOLVD se pueden separar en tres grupos:

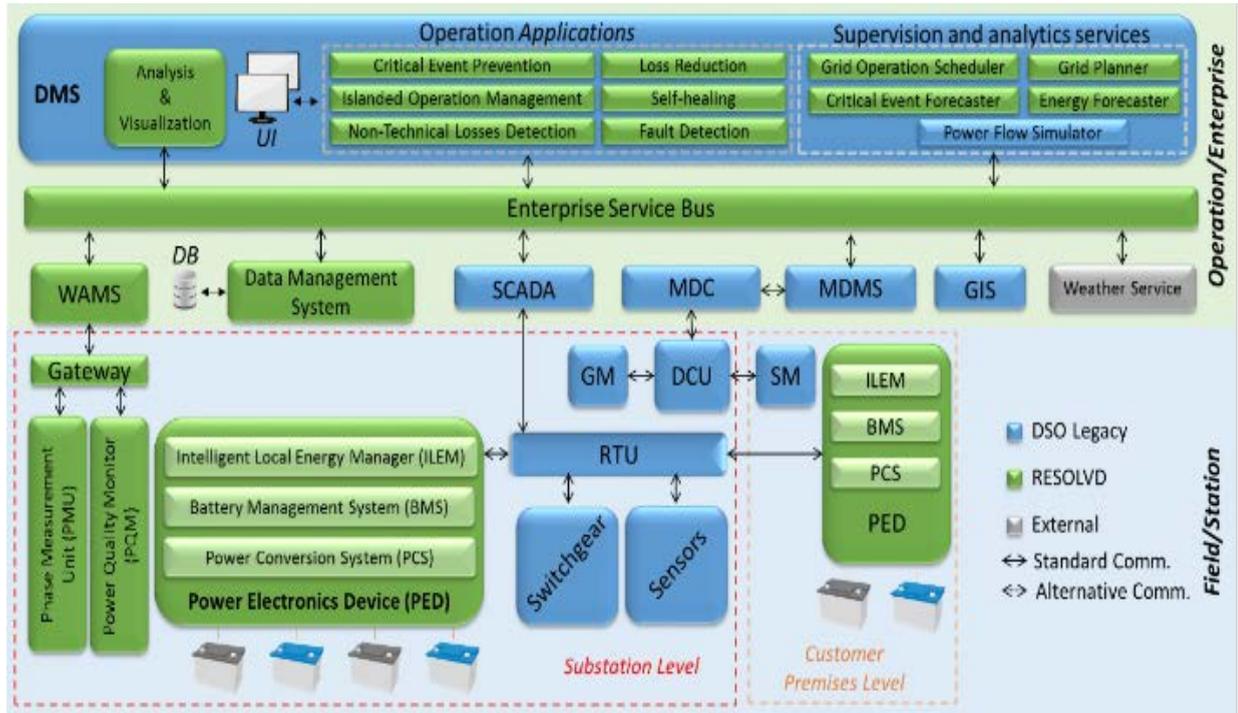


Figura 1: Componentes de la arquitectura RESOLVD

1) Herramientas y aplicaciones avanzadas:

o Aplicaciones de operación DMS:

- Prevención de eventos críticos (CEPA)
- Detección de fraude y pérdida no técnica
- Reducción de pérdidas (LRA)
- Selfhealing (SHA)
- Gestión de energía en modo de isla intencional y controlada (IPMA)
- Servicios de supervisión y análisis
- Predicción de energía (demanda y generación) (EF)
- Predicción de de eventos críticos (CEF)
- Planificador de operaciones de red (GOS)
- Aplicación de detección de fallos (FDA)
- Planificador de red (GP)

o El Enterprise Service Bus (ESB)

- o Las herramientas de gestión, análisis y visualización de datos.

2) Dispositivo electrónico de potencia (PED)

- o Gestor de energía local inteligente (ILEM)
- o Sistema de gestión de batería (BMS)
- o Convertidor de potencia (PCS)

3) Infraestructura WAMS

- o WAMS
- o dispositivos PMU / PQM
- o Gateway (GW)

Para garantizar la integridad e interoperabilidad a nivel de datos, se ha seguido el modelo de información CIM (Common information model) siempre que ha sido posible. A nivel de seguridad se ha realizado un análisis de amenazas tanto a nivel de comunicación como de protocolos involucrados en ellas (K. Moulinos, 2013; E-Control, 2014) lo que ha permitido definir la lista de requisitos de seguridad. La Tabla 2 resume este análisis a nivel de protocolos, que incluye, por ejemplo, la necesidad de segregar las comunicaciones, utilizando cifrado o redundancias. Análisis de requisitos detallado en (Entregable RESOLVD D1.4). La implementación de dichos requisitos, deben garantizar un sistema seguro para todo el sistema de control y gestión de la red de distribución de baja tensión.

Actor	Type	Name: Description (status in the project: legacy/development)
AMI	Sistema	Infraestructura Avanzada de Contadores (Advanced Metering Infrastructure) , encargada de la recogida de datos de SM instalados en clientes de baja. Se compone de los subsistemas: MDC, DCU, SM and GM. (Heredados)
BMS	Sistema	Sistema de gestión de baterías (Battery Management System) , responsable de la gestión de las diferentes tecnologías de almacenaje, de acuerdo a las necesidades y requerimientos de la red. Es parte del PED (Desarrollado en el proyecto).
CEF	Aplicación	Predicador de eventos Críticos (Critical Event Forecaster) , aplicación encargada de predecir congestiones en la red o variaciones de tensión fuera de límites en base a las predicciones de generación y demanda. (Desarrollado en el proyecto)
CEPA	Aplicación	Aplicación de prevención de eventos críticos (Critical Event Prevention Application) coordinación de acciones para la prevención de eventos críticos. Actúa sobre las consignas de almacenaje y el estado de interruptores de interconexión. (Desarrollado en el proyecto)
DCU	Dispositivo	Concentrador (Data Concentrator Units) , instalado en las subestaciones, es el encargado de recoger y almacenar los datos de contador (SM) instalados en clientes y enviarlos al MDC. Part del AMI. (Heredado)
DPA	Aplicación	Aplicación de pre-procesado (Data Pre-processing Application) , permite la detección de errores en los datos, limpiarlos, corregirlos si es necesario y validarlos. Ejecuta funciones de agregación simples. (Desarrollado en el proyecto)
DMS	Sistema	Sistema de gestión de la red de distribución (Distribution Management System) conjunto de aplicaciones de soporte a la operación y toma de decisiones para la monitorización y gestión de la red desde la sala de control del operador. Aejcuta tareas de orquestración.
EF	Aplicación	Predicador de energía (Energy Forecaster) ejecuta predicciones de demanda y generación en puntos de la red para diferentes horizontos (horario / diario) a partir de datos de consume y meteorología. (Desarrollado en el proyecto)
FDA	Aplicación	Aplicación de detección de fallos (Fault Detection Application) detección y diagnóstico de fallos en la red a partir de datos de PMUs. (Desarrollado en el proyecto)
GW	Dispositivo	Pasarela (Gateways) para interconexión de dispositivos (PMUs, PQM). Ejecuta operaciones de agregación. (Desarrollado en el proyecto)
GIS	Sistema	Sistema de Información geográfica (Geographic Information System) mantiene la información relativa al modelo de la red y los activos que la componen. (Heredado)
GOS	Aplicación	Aplicación para la planificación de la operación de la red (Grid Operation Scheduler application) calcula y planifica las consignas óptimas para cada dispositivo de actuación en base a criterios de eficiencia según diferentes escenarios. (Desarrollado en el proyecto)
GP	Human Actor	Planificador (Grid Planner) la persona responsable de diseñar y elegir la situación de los actuadores de la red y el dimensionado de los equipos de potencia (convertidores y baterías) a instalar en la red a partir de la información proporcionada por el PTF.
ILEM	Dispositivo	Gestor Energético Local inteligente (Intelligent Local Energy Manager) , dispositivo electrónico encargado de las comunicaciones y la lógica de control del PED (es parte de este). (Desarrollado en el proyecto)
IPMA	Aplicación	Aplicación para la gestión de situaciones de isla (Island Power Management Application) se encarga de la gestión de los flujos de información y ejecución de acciones para gestionar situaciones de isla. (Desarrollado en el proyecto)
LRA	Aplicación	Aplicación de reducción de pérdidas. Organiza los flujos de información y ejecuta acciones para la reducción de pérdidas de acuerdo a un aplanificación. (Desarrollado en el proyecto)
MDC	Sistema	Colector de Datos de Medidores (Meter Data Collector) se encarga de la gestión de los datos de consume enviados por los contadores a través de los concentradores (DCUs) y envía dichos datos al MDMS; Es parte del AMI. (Heredado)
MDMS	Sistema	Gestor de Datos de Medidores (Meter Data Management System) ; Sistema informático encargado de la validación, gestión, análisis y procesado de los datos de medidores (SM).
PMU	Dispositivo	Sincrofasores (Phasor Measurement Unit) instrumento que proporciona tensiones y corrientes a la frecuencia de la red en formato fasorial, con base de tiempo sincronizada por GPS y alta resolución. Alimenta el WAMS. (Desarrollado en el proyecto)
PTF	Actor humano	Equipo de planificación (Planning Task Force) es el equipo formado por responsables de la distribuidora y personal técnico externo (instaladores y proveedores de tecnología) que colaboran con un objetivo común para la selección, dimensionado y despliegue de la mayor solución de acuerdo a los objetivos del proyecto.
PCS	Dispositivo	Convertidores de Potencia (Power Conversion System) ; dispositivo (convertidores) de electrónica de potencia capaz de actuar en la red con capacidad de conmutación y gestión de flujos de energía. Forma parte del PED. (Desarrollado en el proyecto)
PED	Dispositivo	Dispositivo de electrónica de Potencia (Power Electronic Device) , Conjunto formado por un ILEM, PCS y el BMS, montado en cabina. Es el encargado de la gestión local de energía entre la red y baterías, permitiendo gestión a diferentes niveles. (Desarrollado en el proyecto)
PFS	Aplicación	Simulador de flujos de potencia (Power Flow Simulator) , simulador de redes para el cálculo de tensiones y corrientes en nodos dada una predicción.
PQA	Dispositivo	Analizador de calidad (Power Quality Analyser) equipo de medida que permite el almacenaje de medidas eléctricas de la red. Permite un registro continuo de datos y su instalación puede ser fija o temporal.
PQM	Dispositivo	Power Quality Monitoring instrumento de precisión que permite medidas y registros de formas de onda para su análisis (armónicos, valores RMS, potencia activa/reactiva, transitorios, perturbaciones, etc.). (Desarrollado en el proyecto)
RTU	Dispositivo	Remota (Remote Terminal Unit) dispositivo de comunicación tipo IED (Intelligent Electric Device) para el interfaz de medidas de campo con DMS y SCADA. (Heredado)
SHA	Aplicación	Aplicación de self-healing (Self-healing Application) gestiona los flujos de información y ejecución de acciones para self-healing frente a situaciones de fallo. Su operación puede ser automática y supervisada. (Desarrollado en el proyecto)
SM (GM)	Dispositivo	Contador inteligente (Smart Meters and Grid Meter) contadores en clientes o en subestaciones (grid meter). Parte del AMI. (Heredado)
SCADA	Sistema	Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition System) es el entorno de monitorización y control de la red. Instalado en la sala de control. Integra el sistema de telecontrol y dispone de funcionalidad de gestión de datos. (Heredado)
SWG	Dispositivo	Interruptores (Switchgears) elementos con capacidad de corte para la interconexión de líneas a baja tensión y permitir el cambio de configuración. Nueva instalación.
WF	Aplicación	Predicción Meteorológica (Weather Forecaster) , servicio externo proporcionado por agencia de meteorología. (Integrado en el proyecto)
WAMS	Sistema	Sistema de Monitorización de área amplia/extendida (Wide Area Monitoring System) sistema encargado de recolectar datos de varias PMUs y analizarlas para detectar cambios bruscos en los flujos de potencia y ejecutar algoritmos de detección y localización de fallos. Se compone de la red de PMUs, pasarelas, una infraestructura de comunicaciones y el software. (Desarrollado en el proyecto)

Tabla 1 Lista de actores en RESOLVD

Requirement	IEEE C37.118	IEC 61850-8-1	PRIME ¹	Modbus RTU	Modbus TCP/IP	IEC 60870-5-104	IEC 61968-100	STG-DC
Communications Segregation	X			X	X	X		X
Enforce IEC 61850-90-5 Security	X							
Use PRIME Prole 2			X					
Enforce Modbus TCP/IP Security with encryption					X			
Use IEC 62351 with cryptographic protection						X		
ESB HTTPS Protection							X	
SOAP Security								X

Tabla 2 Análisis de amenazas en los protocolos de comunicación usados. Requisitos múltiples en los protocolos (Columnas) deben cumplirse todos

PILOTO

La validación de RESOLVD es un piloto de red inteligente de BT (Figura 2), propiedad de la distribuidora Estabaneil Distribució, que consta de dos centros de transformación (CT1: 250kVA y CT2: 630kVA) pertenecientes a la misma línea de media tensión, ubicadas en la comarca de Osona (Catalunya). La red tiene una treintena de clientes y diferentes puntos con generación renovable fotovoltaica. Se ha dotado a la red de un punto de interconexión operable entre dos líneas (Ver Figura 2). Las baterías (44,7 kWh) se asignan íntegramente al CT2 por un tema de espacio en la instalación. Dicho almacenamiento está constituido de dos paquetes de baterías (ácido-plomo: 4kWh y ión-litio: 30,7kWh) dimensionados para suministrar energía durante 4 horas a los clientes en ambas subestaciones en situación de isla, desconectados de la red principal y sin generación. Un dispositivo de electrónica de potencia (PED) con tres inversores frontales de 25 kVA gestionará la energía localmente y proporcionará al mismo tiempo servicios de calidad de energía (equilibrio, compensación reactiva, filtrado de armónicos, etc.). Dos PMU, instaladas en los CTs, sirven para detectar variaciones repentinas en la generación y/o demanda y facilitar la detección de fallos en la red. La información generada por estos dispositivos, junto con los datos de contadores inteligentes constituyen el sustrato de datos que gestiona la plataforma RESOLVD para proporcionar las consignas de operación de la red (consignas de carga y descarga de baterías y actuación de elementos de interconexión) basada en la arquitectura descrita anteriormente.

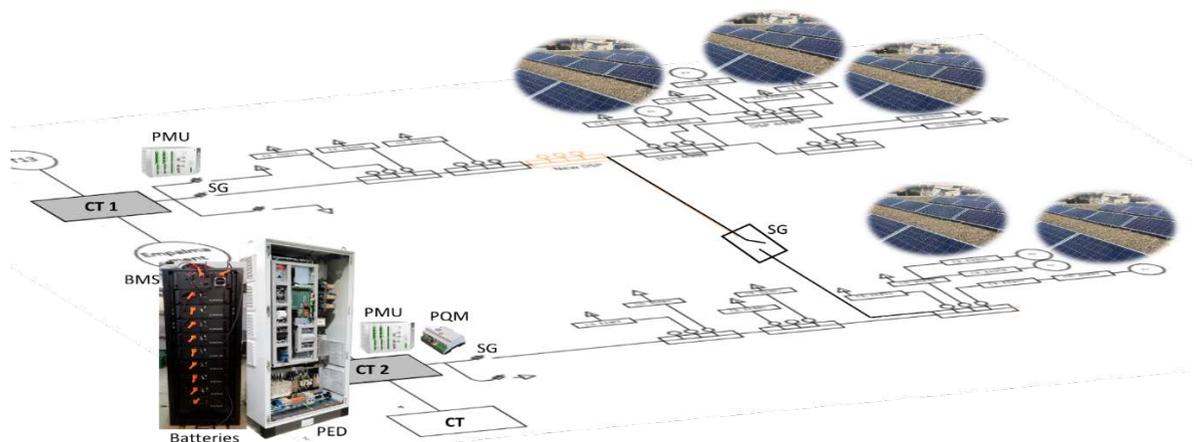


Figura 2 Esquem del piloto y nuevos dispositivos de operación y gestión energética

CONCLUSIONES

La implantación de la tecnología RESOLVD pretende facilitar la operación de la red de distribución con fuerte penetración de generación renovable (no controlable) distribuida, aportando capacidad de gestión a la red cerca de los puntos de generación. Se pretende demostrar cómo las infraestructuras actuales pueden aumentar la capacidad de instalación de generación renovable y mejorar la eficiencia del sistema. El objetivo es facilitar la instalación de generadores renovables dejando la gestión energética en manos de la distribuidora. Dicha gestión incluye no solo el almacenaje energético para su consumo local sino el proporcionar servicios de balanceo, compensación de reactiva y calidad de servicio. Esto requiere la selección estratégica de punto de almacenaje y su correcto dimensionado para evitar congestiones y al mismo tiempo, asegurar que la energía producida se consuma localmente. Un novedoso dispositivo de electrónica de potencia se encarga de gestionar esta energía de acuerdo con las planificaciones proporcionados por la plataforma frente a episodios de congestión o sobre/sub tensiones; proporcionando al mismo tiempo servicios de compensación y balanceo de forma autónoma.

El desarrollo ha tenido en cuenta el análisis de modelos de negocio en la operación de las redes de distribución, así como las posibilidades de explotación de las tecnologías desarrolladas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado bajo el proyecto europeo RESOLVD del programa de investigación e innovación Horizon 2020 (LCE-01-2016-2017, referencia: 773715). El contenido resume la visión del proyecto después de dos años de fructífera colaboración entre los socios. El autor firma en nombre de todos los socios y equipo del proyecto, formado por más de 20 personas.

REFERENCIAS

- [1] CEN CENELEC, 2012, ETSI Smart Grid Coordination Group, “Smart Grid Reference Architecture”
- [2] CEN-CENELEC-ETSI, 2014, ETSI Smart Grid Coordination Group, “SGAM User Manual -Applying, testing & refining the Smart Grid Architecture Model - Version 3.0”.
- [3] ISO/IEC/IEEE, “ISO/IEC/IEEE 42010:2011, Systems and software engineering — Architecture description”
- [4] K. Moulinos, 2013, “Proposal for a list of security measures for smart grids,” European Union Agency for Network and Information Security. Smart Grid Task Force EG2.
(Available Online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20140409_enisa.pdf. Retrieved 2018-06-18).
- [5] E-Control, 2014, “Risikoanalyse für die Informationssysteme der Elektrizitätswirtschaft unter besonderer Berücksichtigung von Smart-Metern und des Datenschutzes”. Project End Report
(Available online: <https://www.e-control.at/documents/20903/-/-/3f89d470-7d5e-433c-b307-a6443692d8f7>. Retrieved 2018-06-18).
- [6] Entregable RESOLVD D1.2, 2018, “D1.2 – Functional and Operational Requirements”.
(Available on line at <https://resolvd.eu/documents/>)
- [7] Entregable RESOLVD D1.3, 2018, “D1.3 - Interoperability and Integration Analysis and Requirements”.
(Available on line at <https://resolvd.eu/documents/>)
- [8] Entregable RESOLVD D1.4, 2018, “D1.4 - Information Security”.
(Available on line at <https://resolvd.eu/documents/>)
- [9] J. Meléndez et al., 2019, “RESOLVD- Renewable Penetration Levered by Efficient low Voltage Distribution Grids. From Specifications to Use case analysis”, CIRED’19, Madrid.
- [10] H.Tuiskula, S. Puranik, I.Ilieva, 2019, “ Identification and validation of new business models for DSO business environment using business model canvas and stakeholder groups”, CIRED’19; Madrid