

La primera feria autosostenible con *anilla energética* autónoma

El 2 y 3 de noviembre del 2019 tuvo lugar en Barcelona la novena edición de la feria de la movilidad eléctrica, Expoelectric. Esta feria es una iniciativa pionera que acerca el vehículo eléctrico de cero emisiones y las energías renovables a la ciudadanía a través de un conjunto de actividades lúdicas y divulgativas para impulsar la movilidad eléctrica y la transición energética.

D. HEREDERO, C. CHILLÓN, F. GIRBAU, O. GOMIS, CITCEA-UPC | M. PAGÈS, A. SUDRIÀ, TEKNOCEA

Con una propuesta abierta a todo el público, pero no por ello menos técnica, el éxito de la última edición de Expoelectric ha sido rotundo consolidando la propuesta como el principal evento de vehículos eléctricos y energías renovables del sur de Europa, con un récord de asistencia total de cerca de 25.000 visitantes, la participación de 55 expositores, 750 pruebas de circulación de coches eléctricos por las calles de Barcelona y 400 pruebas de motos, bicicletas y patinetes eléctricos.

En anteriores ediciones Expoelectric entraba en contradicción con su ideal de sostenibilidad de cero emisiones al verse con la obligación de utilizar grupos electrógenos para suministrar la energía eléctrica necesaria a las carpas de los expositores. Una feria *verde* generaba gases contaminantes y ruido consumiendo combustibles fósiles en sus generadores diésel de electricidad, por el contrario los vehículos eléctricos expuestos disponían en sus baterías de una apetecible energía que, junto con los recursos de energías renovables también expuestos, podía ser suficiente para alimentar las carpas de sus expositores y resto de servicios de la feria. Ante esta innovadora posibilidad las entidades organizadoras acudieron al centro de innovación tecnológica CITCEA de la Universitat Politècnica de Catalunya para estudiar la viabilidad de esta propuesta de autogeneración para conseguir la autonomía energética de un evento dedicado a los vehículos eléctricos y las energías renovables.

CITCEA-UPC aceptó el reto de desarrollar un equipo de electrónica de potencia que fuese capaz de cumplir con todos los requisitos necesarios. Se trataba de conseguir un sistema aislado de generación eléctrica que fuera capaz en cada instante de adaptarse a la demanda de electricidad de los consumos partiendo de las baterías de los diferentes vehículos eléctricos disponibles y de las generaciones renovables que participaran en la feria. Se desarrolló el concepto de **generador de anilla energética**

(Energy Ring Generator, ERG), se construyó un prototipo, se experimentó en laboratorio y se realizó una experiencia piloto en la Expoelectric'18 que validó el concepto llegando a alimentar la mitad de las carpas de la feria. Se había creado el concepto de "Anilla energética".

Al disponer de la *anilla energética* y en su voluntad de liderar la transición energética, Expoelectric ha puesto en marcha este año una nueva actividad, el Espacio Autoconsumo que ha permitido que **Expoelectric se convierta en la primera feria del sur de Europa en generar su propia energía eléctrica** a través del autoconsumo fotovoltaico y de vehículos interconectados a la red (Vehicle to Grid, V2G).

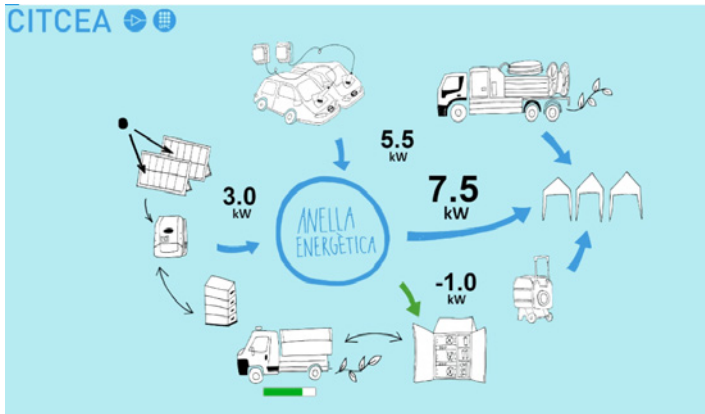


La **anilla energética** permite **interaccionar de forma bidireccional a los vehículos eléctricos con la red eléctrica generada por la propia anilla**. De esta manera la electricidad del evento proviene de fuentes de energía de origen renovable generada en su totalidad por placas fotovoltaicas, baterías de almacenaje y las aportaciones energéticas procedentes de los vehículos eléctricos.

LA ANILLA ENERGÉTICA

La *anilla energética* es una propuesta derivada del concepto de microrred que implica interconectar múltiples fuentes de generación dis-

tribuida y consumos. Al tratarse de un sistema completamente aislado de la red de distribución, el sistema requiere de un convertidor central y de un almacenamiento de energía que serán los responsables de establecer la red actuando como fuente de tensión y, además, mantener tanto el valor de la tensión de suministro como su frecuencia dentro del rango de operación normal, garantizando el balance de potencia y la seguridad del sistema en todo momento.



Captura de la pantalla de la anilla energética

Este convertidor central es el generador de la *anilla energética* ERG (Energy Ring Generator), desarrollado por CITCEA-UPC y fabricado por su empresa spin-off, TEKNOCEA. Como energía de respaldo, el ERG usa la batería de una furgoneta eléctrica dedicada al uso de servicios de limpieza urbanos aportada por la empresa URBASER complementada con baterías de segunda vida hasta alcanzar una capacidad útil de 45 kWh con una rango de tensión de entre 240 y 295 Vdc. Es decir, cuando la generación de los nodos distribuidos que aportan energía a la *anilla energética* es mayor que la energía consumida por las cargas conectadas a la anilla, el convertidor central ERG almacena este excedente cargando la batería de la furgoneta eléctrica, cuando la carga es mayor que la generación el ERG ajusta el balance de potencia extrayendo energía de la batería.

Por motivos de seguridad, el ERG genera la *anilla energética* trifásica mediante un transformador estrella/estrella con neutro de 30 kVA que permite establecer un régimen de neutro TT en la anilla de distribución. El sistema de tensiones trifásico que genera el ERG se obtiene mediante un ondulator de topología trifásica de cuatro hilos, caso no convencional en equipos trifásicos, que permite controlar independientemente la tensión de cada fase. De esta forma, la adaptabilidad a situaciones de elevado desequilibrio de cargas se gestiona individualmente, afectando de forma mínima a las otras fases y adquiriendo una característica de mayor flexibilidad que cualquier red convencional.

Como la mayor parte de nodos de generación distribuidos a lo largo de la anilla son monofásicos, sean fotovoltaicos o V2G, se pueden producir escenarios en que una fase está a plena carga, otra fase está en vacío y por la tercera fase se inyecte corriente nominal en sentido contrario. La estructura de 4 hilos permite mantener la calidad de onda en las tres fases equilibrándolas internamente, no viéndose afectada por la potencia reactiva consumida por las cargas ni por los armónicos producidos por cargas no lineales.

Así como el generador ERG se comporta como fuente de tensión alimentando las tres fases de la *anilla energética*, el resto de equipos activos que se conecten a ellas como generadores, bidireccionales o no, de energía eléctrica, se deben comportar como fuentes de corriente acopladas a la *anilla energética* mediante una inductancia como es usual en los ondulatores fotovoltaicos, cargadores bidireccionales de vehículos eléctricos V2G y sistemas reversibles de almacenamiento en baterías.

PROTECCIONES Y CONTROL DE LA ANILLA ENERGÉTICA

Debido a la naturaleza de una feria como Expoelectric, se espera un perfil de consumos errático por las continuas conexiones y desconexiones de dispositivos. No es descartable que pueda suceder alguna situación de cortocircuito. En una *anilla energética* de las características de Expoelectric la corriente máxima de cortocircuito está limitada a la corriente que puede suministrar el ERG que al ser un equipo de electrónica de potencia no permite niveles de sobrecarga comparables a una red convencional, dificultando que protecciones convencionales puedan actuar adecuadamente.

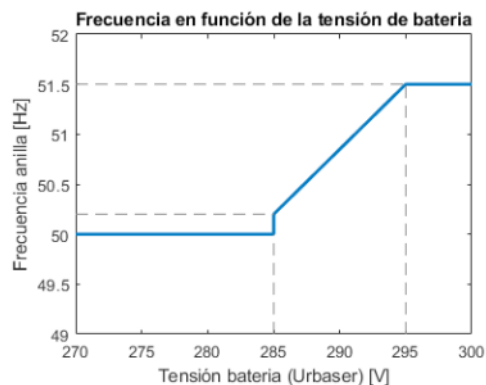
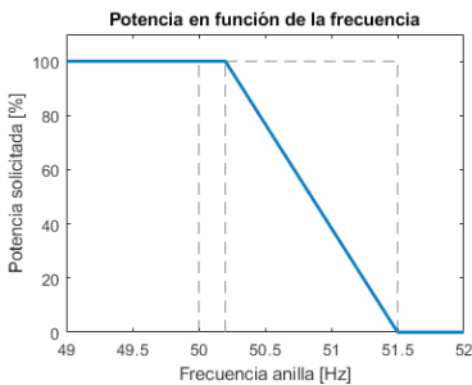
Por dicho motivo el dimensionado de las protecciones de la *anilla energética* debe tener en cuenta esta especial circunstancia de baja corriente de cortocircuito para evitar que en algún caso la energía de cortocircuito sea insuficiente para que la protección actúe. La corriente máxima de falta del ERG está limitada por su control a 50 A sin límite de duración temporal, en caso de sobrecarga o cortocircuito mantiene los 50 A limitados y disminuye la tensión al valor necesario para no superar la potencia nominal, por lo cual una propuesta de protecciones podría ser la que se describe a continuación:

- Para asegurar la selectividad se debería aumentar la sensibilidad de los interruptores magnetotérmicos, instalando dispositivos de 40 A y curva tipo C a la salida del ERG y de 10 A de curva mas sensible tipo B en la cabecera de las tres fases. De esta forma, con una corriente de falta de 50 A, controlada por el ERG, es suficiente para hacer disparar las protecciones aguas abajo de la generación.

- Para incrementar todavía más la seguridad, el propio ERG implementa una curva de protección software que se encuentra entre la de curva de disparo y no disparo de la protección convencional a su salida, teniendo así una redundancia activa. Los magnetotérmicos de los cuadros instalados en las carpas son de 6 A, por lo que, ante un cortocircuito, aunque esté limitado a 50 A, por selectividad actuarán antes, garantizando la continuidad del suministro. En caso que el magnetotérmico del cuadro fallase, la curva *software* del convertidor actuaría, interrumpiendo el suministro eléctrico.

cionar cada uno 3 kW a partir de dos vehículos Nissan Leaf de 34 kWh de capacidad utilizable de batería. La batería de la furgoneta eléctrica de Urbaser aportaba una capacidad utilizable de 45 kWh. Con estos recursos se dio servicio eléctrico a todas las carpas de los expositores que habían contratado un suministro total de potencia de 18 kW, con un total de energía consumida durante los dos días de 150 kWh.

Durante la feria se comprobó el correcto funcionamiento de la *anilla energética*, y se consiguió alimentar las carpas con una potencia de pico de 15 kVA. Se consiguió implementar la anilla integrando equipos de diferentes tecno-



Relación frecuencia/potencia (izq.) y frecuencia/tensión (dcha.) de la batería

También se tiene que asegurar que los flujos de energía entre el ERG y el resto de dispositivos activos de la *anilla energética* sean los adecuados para la optimización de los recursos energéticos. Para la coordinación y control de los flujos de energía se prefiere no tener que implementar un sistema de comunicaciones entre los distintos elementos activos y para ello se adopta por parte del ERG la normativa VDE-AR-N-4105 como solución.

Este método de gestión emula el comportamiento de un generador eléctrico convencional que cuando se le sobrecarga disminuye su velocidad de giro y por lo tanto la frecuencia de las tensiones que genera y cuando queda en vacío se acelera incrementando la frecuencia de las tensiones. Mediante este método el ERG puede solicitar a los dispositivos activos de la anilla la disminución o aumento de la potencia a inyectar variando la frecuencia de la tensión de suministro en base al nivel de tensión de la batería de respaldo. Así, el excedente energético se convierte en gestionable.

logías y gestionar su funcionamiento mediante el control del nodo central, integrado por un ERG. Esta experiencia ha demostrado que con suficientes recursos energéticos distribuidos se puede prescindir de grupos electrógenos para garantizar el suministro en este tipo de eventos. Además, se pudo realizar una importante tarea divulgativa, explicando y mostrando el concepto a los interesados.

Como reconocimiento a la innovación que representa este concepto de *anilla energética* le fue otorgado uno de los premios *EmErgEnt* concedido por el Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya, CEEC en la VII Nit de l'Eficiència al mejor proyecto del sector de la gestión energética desarrollado por una *start-up* del sector de la energía eficiente de Catalunya en la categoría de *Producto* reconociendo así al ERG. ●

Daniel Heredero, Cristian Chillón, Francesc Girbau, Oriol Gomis, CITCEA-UPC | Marc Pagès, Antoni Sudrià, TEKNOCEA.

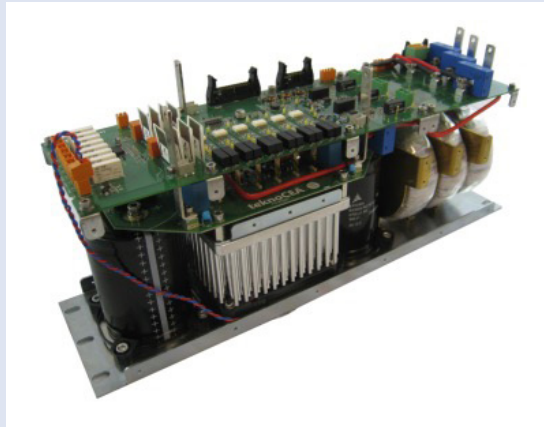
RESULTADOS DE LA ANILLA ENERGÉTICA

La presente edición de la feria dispuso de dos dispositivos activos que podían inyectar energía a la *anilla energética*. La empresa Audit Energía conectó una instalación fotovoltaica de 5,67 kWp i la empresa Wallbox conectó dos cargadores bidireccionales V2G que podían propor-

++info

Lee el artículo completo, con detalles de la configuración del ERG creado por Teknocea en <https://cutt.ly/geKiObS>

Energy Rig Generator



Módulo componente del ERG



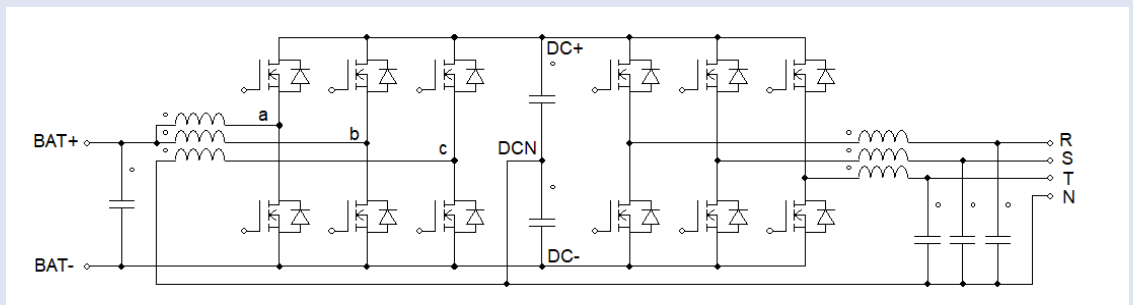
Generador de la anilla energética ERG

El generador de la anilla energética aportado por CITCEA-UPC y TEKNOCEA (ERG - *Energy Ring Generator*), se basa en unos módulos de convertidores de tres ramas con toma en el punto medio de los condensadores del bus de tensión continua DC. Estos módulos están realizados con semiconductores de potencia de carburo de silicio (SiC) con lo cual pueden conmutar a más elevadas frecuencias disminuyendo el volumen de los convertidores y aumentando su rendimiento energético. La potencia de cada módulo es de 20 kVA y se pueden conectar en paralelo hasta alcanzar los 100kVA. El módulo ya incorpora las tres inductancias necesarias para el acoplamiento a la red cuando funciona como ondulator trifásico DC/AC o para gestionar la energía de la batería en un funcionamiento entrelazado de las tres ramas DC/DC.

El ERG utilizado en Expoelectric está constituido por una etapa de dos módulos en paralelo DC/DC más una etapa DC/AC trifásica de 4 hilos con una potencia nominal de 40 kVA (50 A máx.), las dos etapas están conectadas internamente mediante un bus de tensión continua formado por dos condensadores de muy elevada capacidad.

El convertidor DC/DC adapta la tensión de las baterías a el valor de la tensión de bus necesaria para que la etapa DC/AC pueda generar el sistema trifásico de 400 V/50 Hz deseado. Este convertidor DC/AC, al estar basado en una topología trifásica de 4 hilos, caso no convencional en equipos trifásicos, permite controlar independientemente la tensión de cada fase ante la presencia de fuertes desequilibrios como una fase en vacío, la segunda fase suministrando energía a plena carga y la tercera fase recibiendo energía en sentido contrario a corriente nominal. Las tres fases comparten la energía almacenada en los grandes condensadores del bus DC y por ello aunque los signos de las corrientes sean opuestos, el ondulator puede seguir sintetizando digitalmente un sistema de tensiones trifásicas con alta calidad de onda.

Los dos convertidores DC/DC y DC/AC acoplados por el bus de tensión continua que comparten proporciona la capacidad de bidireccionalidad del flujo de energía del ERG. Si hay un excedente de generación en la anilla energética se aprovecha para recargar la batería y si hay una demanda de suministro para satisfacer se aporta energía a la anilla desde la batería.



Esquema del generador de la *anilla energética*