

E-BALANCE: EQUILIBRANDO LA GENERACIÓN Y EL CONSUMO DE ENERGÍA EN VECINDARIOS INTELIGENTES.

Eduardo Cañete, Jaime Chen, Manuel Díaz y Bartolomé Rubio
Dpto. Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga

Abstract

Energy efficiency becomes crucial for rational consumption of the available resources and reduction of the CO2 production. But the reduction of energy consumption as the only remedy is only a partial solution. Similar, applying more environment-neutral or renewable energy sources without smart energy management systems may even cause failures in the energy grid or at least cause the energy to be wasted. Introducing intelligent solutions that combine the control of energy production and consumption helps to achieve the best efficiency.

However, a successful application of such solutions faces problems due to human factors. The problem space is multidimensional, but can be structures as a combination of social, economic and technical aspects. The e-balance project will investigate their interdependencies and propose a solution that satisfies the defined requirements.

Resumen

La eficiencia energética es crucial para hacer un uso racional de los limitados recursos disponibles en la naturaleza y la reducción de la producción de CO2. Sin embargo, el problema de la eficiencia energética no se limita a conseguir un menor consumo energético. De igual manera, el uso de las energías renovables sin una gestión inteligente puede dar lugar a fallos en las redes eléctricas o a un desperdicio de la energía generada. La introducción de soluciones inteligentes que combinan el control de la producción de energía y su consumo ayudan a conseguir una mejor eficiencia.

Sin embargo, la correcta aplicación de estas soluciones tiene que hacer frente a problemas de tipo "humano". El problema que tratamos aquí es de tipo multidimensional, pero puede ser sintetizado en la combinación de aspectos sociales, económicos y técnicos. El objetivo de este trabajo es investigar sus interdependencias y proponer una solución consistente en un sistema inteligente de control y equilibrio de la carga entre consumidores y productores, haciendo énfasis en aspectos como el uso de energías renovables y comunicaciones seguras y fiables.

Palabras clave: *redes eléctricas; eficiencia energética, energías renovables; monitorización y control de sistemas de energía; sistemas inteligentes*

Área temática: *Eficiencia energética en edificios inteligentes.*

1. Introducción

En las últimas décadas, el crecimiento exponencial del consumo de energía a nivel mundial ha hecho que crezca de forma general la preocupación sobre las dificultades de suministro, el agotamiento de los recursos energéticos y el impacto negativo que todo esto tiene en el medioambiente (desgaste de la capa de ozono, calentamiento global, cambio climático, etc.) (Andrew Goudie, 2013). El porcentaje del consumo global de energía que proviene de edificios, teniendo en cuenta edificios residenciales y

comerciales, ha crecido de forma continuada alcanzando actualmente valores de entre el 20% y el 40% en países desarrollados e incluso superando al de otros sectores principales como pueden ser el de transportes o el industrial. El crecimiento de la población ha incrementado la demanda de servicios ofrecidos en edificios y los niveles de comodidad. Si a todo esto se suma que ahora las personas pasan más tiempo dentro de los edificios, podemos estar seguros que en el futuro la demanda energética tenderá al alza.

Con el fin de prevenir el impacto negativo de la situación comentada en el párrafo anterior, la eficiencia energética va a ser sin duda una de las principales formas que nos ayude a conseguir objetivos importantes para alargar nuestra futura existencia en el planeta. Estos objetivos ambiciosos incluyen el consumo sostenible de los recursos disponibles y la reducción de la contaminación medioambiental. Dichos objetivos se podrían conseguir siguiendo las dos siguientes estrategias. Primero habría que fomentar e incrementar el uso de energías renovables para así poder reducir la proporción de los recursos limitados consumidos actualmente y en segundo lugar habría que reducir la demanda energética para así poder reducir la producción global de energía. Sin embargo, llevar a cabo a estas estrategias de forma satisfactoria implica hacer frente a problemas de factor humano. El problema al que nos enfrentamos es multidisciplinar, por ejemplo, hay que tener en cuenta la combinación de aspectos de tipo sociológico, técnico y económico. Estos aspectos problemáticos son principalmente la predicción de la demanda generada por los usuarios finales, la aceptación por parte de éstos de las propuestas técnicas ofrecidas y estar dispuestos a querer reducir su consumo energético y pagar las soluciones técnicas necesarias. Finalmente, hay que tener en cuenta que debido a que los usuarios finales representan un abanico muy amplio de actitudes diferentes, su nivel para involucrarse o participar en la reducción de la contaminación medioambiental (ser más eficiente energéticamente) también difiere.

El objetivo del proyecto E-balance es tener en cuenta todos estos problemas medioambientales considerando los distintos aspectos de eficiencia energética en las ciudades inteligentes actuales y en las nuevas que se crearán en el futuro con el fin de proporcionar soluciones técnicas flexibles y holísticas, y poder validar de forma cuidadosa soluciones bajo condiciones reales.

La Sección 2 describe algunos trabajos relacionados. La Sección 3 presenta los objetivos del proyecto. En la Sección 4 se describe la metodología de trabajo a seguir. En la Sección 5 se presentan los casos de estudio donde se validarán los resultados del proyecto. Por último, las conclusiones se describen en la Sección 6.

2. Trabajos Relacionados

2.1 EnRiMa: Energy Efficiency and Risk Management in Public Buildings [ENRIMA].

El objetivo general de EnRiMa es desarrollar un sistema de ayuda a la decisión para los operarios de edificios eficientes energéticamente y espacios públicos. Proporcionando una gestión integrada de los objetivos en conflictos tales como requisitos de minimización de costes, ajustes de energía, eficiencia y reducción de emisiones además de la gestión de riesgos, los sistemas de ayuda a la decisión permiten a los operadores mejorar eficiencia energética de los edificios.

2.2 e-HOUSES: Saving Energy & the Environment across Europe [HOU3E]

Este proyecto trata de integrar la mayoría de las tecnologías ICT en viviendas sociales para proporcionar un servicio nuevo para gestionar la energía de forma eficiente. El proyecto lleva a cabo monitorización en tiempo real y gestión del consumo energético e integración de las energías renovables.

2.3 E3SoHo: Energy Efficiency in European Social Housing [E3SH]

El objetivo del proyecto E3SoHo es implementar y demostrar soluciones basadas en ICT en viviendas sociales europeas con el fin de reducir de manera significativa (alrededor de un 25%) el consumo energético llevando a cabo las siguientes acciones: 1) proporcionar a los inquilinos de las casas información de su consumo y darle consejos, 2) fomentar el consumo de energías renovables y 3) monitorizar y transmitir datos de consumo a los servicios encargados de gestionar y controlar el consumo energético.

2.4 SEEDS: Self-learning energy efficient buildings and open spaces [SEEDS]

La misión de este proyecto es desarrollar un sistema de gestión de energía para edificios en base a modelos innovadores basados en medidas y técnicas de autoaprendizaje. Dichas técnicas también serán usadas para predecir futuros inciertos y optimizar el rendimiento energético de un edificio.

2.5 DENISE: Distribución Energética Inteligente, Segura y Eficiente [DENISE]

El objetivo de este proyecto español es ahondar en las dificultades de las actuales redes eléctricas para dar soporte a la creciente demanda energética. Por ello, se pretende comunicar los servicios tradicionales del suministro eléctrico con los actuales servicios TIC. Durante el proyecto se ha presentado el uso de un sistema domótico para viviendas que se comunica con la empresa suministradora de energía para monitorizar y controlar la eficiencia energética y la demanda eléctrica.

2.6 SmartCity Málaga [SMARTCITY]

Este proyecto español persigue una mejor gestión de la energía mediante la integración de las fuentes de energías renovables en la red eléctrica así como un acercamiento entre entidades generadoras y consumidoras de forma que se promueva un nuevo modelo de gestión basado en la microgeneración eléctrica. Para ello, se estudia el uso de baterías como sistema de almacenamiento temporal que permita a los usuarios de la red compartir y equilibrar el uso de la energía. A su vez, se aborda el uso de contadores inteligentes y sistema de control y comunicación a distancia para actuar y controlar en tiempo real el uso y la demanda de energía.

3. Objetivos

Las redes eléctricas han sido sistemas dinámicos desde sus comienzos. La gran cantidad de consumidores de energía y la variabilidad de la demanda por parte de estos son algunos de los retos con los que tienen que lidiar los productores de energía. Con el fin de mejorar en estos sistemas el control de la producción energética, distintos métodos para predecir la demanda de energía por parte de los consumidores se han usado a lo largo del tiempo. A pesar de que algunas veces el comportamiento energético previsto no se corresponde con el consumo de algunos usuarios, el uso de las reglas estadísticas (Swan y Ugursal, 2009) permite minimizar las pérdidas energéticas. Sin embargo, en los nuevos tiempos que corren, el incremento del número de productores a baja escala (micro-productores) junto a la necesidad de tener que distribuir la producción de energía hace que dichas predicciones sean más complejas, especialmente, si lo que se pretende es desarrollar sistemas energéticos altamente eficientes. Por otro lado están las energías renovables controladas por fuerzas difícilmente predecibles que hacen que sea complicado saber cuánta energía se puede obtener de ellas usando solo modelos estadísticos (Bitar et al, 2011). Por tanto, un sistema de control inteligente adicional que permita monitorizar y ofrezca además un sistema de ayuda a la decisión es necesario

para cubrir todos los nuevos aspectos de las redes eléctricas y así poder incrementar la eficiencia de forma general. Hay que tener en cuenta que es más eficiente la gestión de energía para un número concreto de usuarios, por ejemplo: residencias familiares, donde la diversidad en el comportamiento de los usuarios permite balancear de forma mucho más eficiente la energía que requieren.

El objetivo del proyecto es desarrollar una plataforma que permita implementar sistemas de control que ayuden a incrementar la eficiencia energética de las redes eléctricas. Conseguir este objetivo (eficiencia energética) requiere de la consideración de las siguientes funcionalidades de alto nivel:

- Reglas del mercado de energía para mapear los modelos de negocio en el mercado.
- Adaptación inteligente y rápida al consumo energético en función de las preferencias de un usuario y de la energía disponible.
- Adaptación a la producción de energía proporcionada por grandes productores en función de la demanda prevista con el fin de reducir pérdidas y la producción de CO₂.
- Incremento de la eficiencia en el uso de energía disponible proveniente de energías renovables, incluyendo su almacenaje para un uso posterior.
- Uso inteligente de las distintas formas de almacenamiento de energía.
- Incrementar la fiabilidad de la red eléctrica de distribución gracias a la monitorización de sus parámetros (auto reparación, reducir caídas de luz, etc.).

La realización de las funcionalidades comentadas anteriormente es proporcionada de forma jerárquica y descentralizada. Las acciones del sistema dependen de los datos tomados y analizados en diferentes niveles de la red eléctrica (incluyendo las casas de los usuarios). En función de los datos tomados el sistema lleva a cabo las siguientes tareas dinámicas:

- Tener en cuenta la demanda de energía prevista para hacer un uso más eficiente de la energía producida a gran escala con el fin de reducir la producción de CO₂ al mínimo posible.
- Gestionar la producción de energía local (como por ejemplo la proveniente de paneles solares) e intentar encontrar un consumidor para la energía producida en el área local o almacenarla para poder usarla posteriormente acorde a ciertos modelos de negocios del mercado de energía.
- Controlar los parámetros de la energía producida localmente. Por ejemplo, controlar los inversores para reducir el ruido eléctrico en la red eléctrica o desactivar los generadores que producen más ruido.
- Calcular los indicadores que controlan el precio de la unidad de energía.
- Llevar a cabo tareas para analizar cuanta energía consume cada individuo de forma individual.
- Detectar problemas o fallos en la distribución de energía dentro de una red eléctrica y poder reaccionar para solucionarlos en la medida de lo posible.

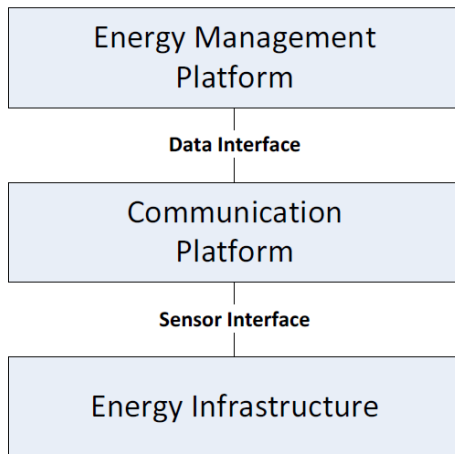


Figura 1: Componentes e interfaces que componen el sistema e-balance

La Figura 1 muestra un esquema del sistema completo teniendo en cuenta todos los componentes. Las interfaces mostradas en la figura (interfaz de datos e interfaz de los sensores) serán definidas en una etapa temprana del proyecto de forma que puedan ser usadas en todos los pasos de las etapas de análisis, diseño, modelado, simulación y desarrollo.

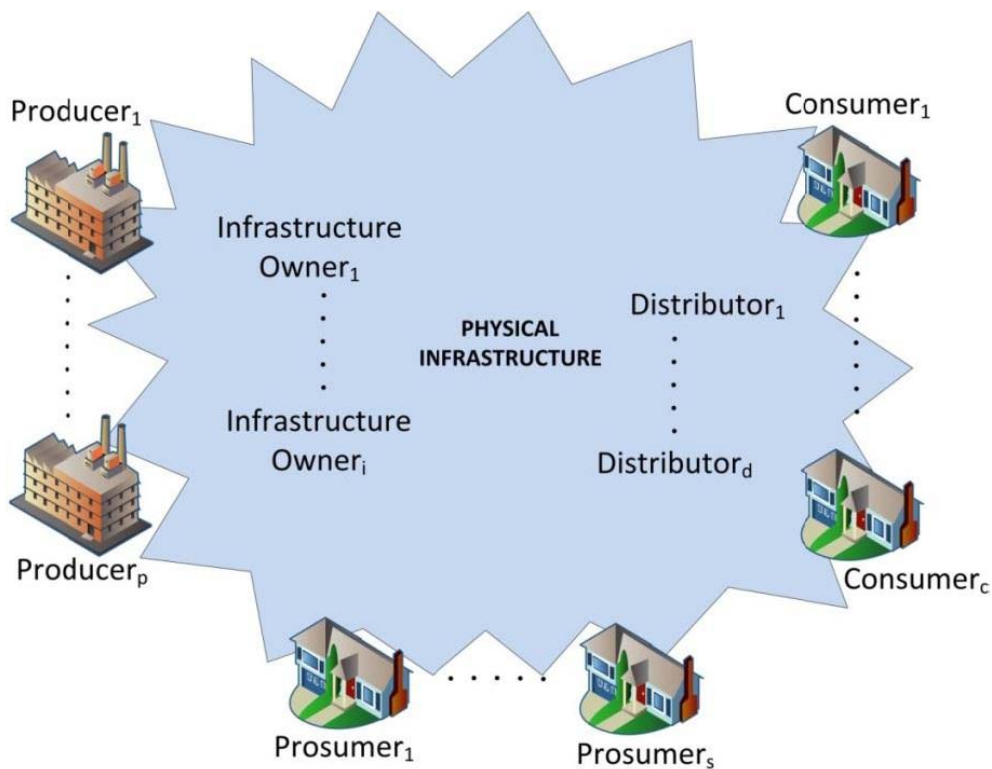


Figura 2: Esquema de los diferentes participantes del proyecto

Los diferentes grupos de participantes involucrados en el sistema son mostrados en la Figura 2. El grupo más grande es el de los "consumers" (consumen energía) y "prosumers" (consumen energía pero adicionalmente también pueden producirla).

Estos dos conjuntos de participantes usan los servicios proporcionados por una serie de distribuidores (para consumir o para vender energía). Los distribuidores actúan como agentes encargados de comprar y vender energía. Los distribuidores alquilan el uso de infraestructuras a los dueños de infraestructuras. El último grupo lo forman un conjunto de grandes productores de energía.

Con el fin de conseguir los objetivos principales, se han fijado los siguientes objetivos científicos y tecnológicos:

1. Investigar sobre los aspectos reales de la eficiencia energética obtenida a través de su control y gestión de forma distribuida y descentralizada.
2. Integración de las tecnologías de comunicación para la gestión descentralizada con sistema de ayuda a la decisión.
3. Algoritmos de gestión y control flexibles para la producción, consumo y distribución de energía.
4. Análisis detallado de todos los aspectos del enfoque propuesto.

4. Metodología

El proyecto tiene una duración total de 42 meses y está subdividido en un total de 7 paquetes de trabajos (WP) mostrados en la Figura 3. WP1 y WP7 no son de desarrollo ya que tratan temas de administración del proyecto, diseminación, explotación y estandarización. Los 5 paquetes restantes son los que tratan los retos presentados en la Sección 3. El proceso de desarrollo será iterativo ya que permite refinar las soluciones de forma gradual y adaptar continuamente las decisiones de diseño a los resultados obtenidos.

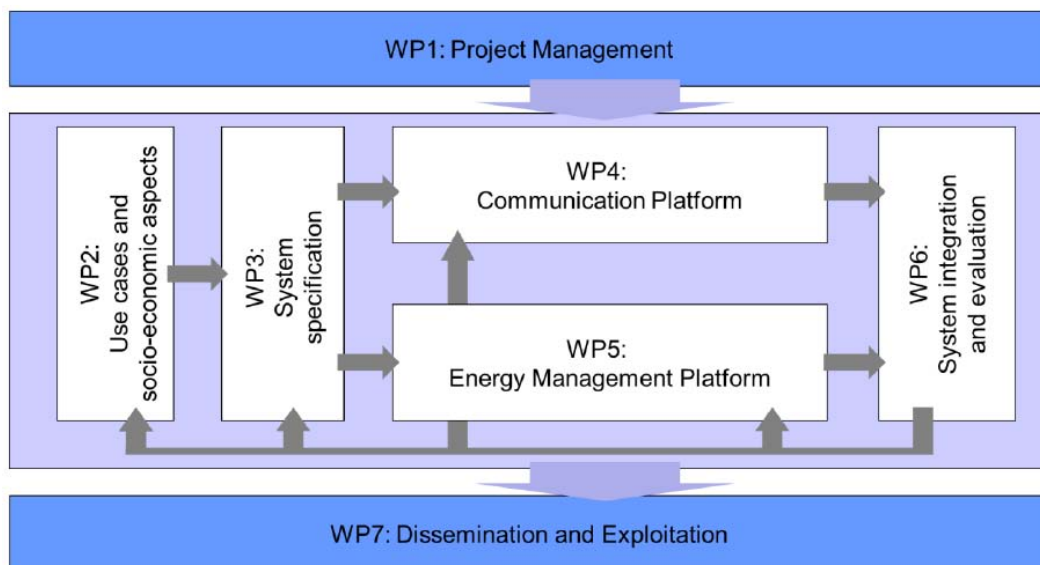


Figura 3: Metodología y organización del proyecto

A continuación se detallan cada uno de los paquetes de trabajo.

4.1 WP2 Casos de usos y aspectos socioeconómicos

En este paquete de trabajo se definen los casos de uso. Se evaluarán no solo casos de usos técnicos sino también socioeconómicos (basado en encuestas). Desde el punto de vista de la aceptación por parte del usuario de este tipo de soluciones, es imprescindible estudiar y conocer los aspectos socioeconómicos (Kavgic et al, 2010) y técnicos para proporcionar soluciones que los tengan en cuenta y a su vez proporcionen seguridad y privacidad.

4.2 WP3 Especificación del sistema

El objetivo de este paquete de trabajo es elaborar un plan de acción que dirija la construcción del sistema de gestión de energía y que permita equilibrar la producción con el consumo de energía de forma local. Para ello es necesario identificar los objetivos concretos y los componentes necesarios para conseguirlos.

4.3 WP4 Plataforma de comunicaciones

En este paquete de trabajo se estudia el sistema de comunicaciones. El reto principal es que la naturaleza de los dispositivos a tener en cuenta es heterogénea. El sistema consiste en ordenadores de alto rendimiento necesarios para ejecutar modelos de producción y consumo de energía pero también en dispositivos con limitado poder de cómputo y limitada energía como son los sensores inalámbricos. El principal reto es conseguir una comunicación fiable a la vez que segura. Estos retos se ven dificultados a su vez por la necesidad de proporcionar comunicaciones en tiempo real. Este paquete de trabajo producirá una plataforma de comunicación independiente e inteligente con especial énfasis en la gestión de energía.

4.4 WP5 Plataforma de gestión de energía

El objetivo de este paquete de trabajo es investigar en modelos de predicción del consumo y la producción de energía en diferentes escalas de tiempo y de tamaño de las redes. Además, los mecanismos de control y acciones a tomar para conseguir este fin serán investigados. Ya que la gestión de energía requiere del uso de información proveniente de diferentes participantes, este paquete de trabajo también trata el tema de la seguridad a alto nivel y la privacidad de los datos con objeto de garantizar la protección de los datos a todos los niveles.

4.5 WP6 Evaluación y sistema de integración

Con objeto de asegurar un correcto funcionamiento de los diferentes componentes de la plataforma, éstos serán integrados y evaluados lo antes posible de forma que se puedan comprobar que todos los requisitos, tanto funcionales como no funcionales, se cumplen. Las soluciones llevadas a cabo en WP4 y WP5 serán integradas en los escenarios reales descritos en la Sección 5. En el caso de estudio de Portugal, el énfasis está en la parte de gestión y control de la red de distribución incluyendo también aspectos como la seguridad y la privacidad. En el caso de estudio de Bronsbergen, el énfasis está en la automatización de los edificios y los problemas relacionados con la gestión de energía ya que es allí donde existe acceso a fuentes de energía renovables y sistema almacenamiento de energía.

Este paquete de trabajo también desarrollará herramientas de simulación de vecindarios. Éstas serán usadas en el escenario simulado para probar la plataforma antes de desplegarla definitivamente en los casos de estudio reales.

5. Casos de estudio

Con objeto de cuantificar los beneficios de la solución propuesta, dos escenarios reales y uno simulado serán usados para validar los resultados obtenidos

El primero de ellos está situado en la subestación São Jorge en Batalha (Portugal). En este escenario, donde existen fuentes de energía renovables, la plataforma de control de la energía generada y consumida será desplegada para validar el funcionamiento del sistema de predicción de energía y estudiar el flujo de energía en vecindarios de bajo voltaje. Este escenario por tanto será usado principalmente para validar el uso de sistemas distribuidos de automatización y la infraestructura de medición remota. Esto permitirá la detección, monitorización y control del uso de las redes eléctricas y permitirá obtener información que permitirá decidir la forma óptima de balancear la carga en la red. Los dispositivos serán monitorizados por medio de redes inalámbricas

de sensores. Por ejemplo, la Tabla 1 muestra los sensores usados para monitorizar diferentes variables en la subestación eléctrica.

Tabla 1. Márgenes de la Página

Localización	Funcionalidad de los sensores
Estación secundaria	Estado de los fusibles LV y PL; Medición del voltaje y corriente por salida; Medición de la temperatura de los transformadores Detección y localización de fallos
Caja de distribución	Estado de los fusibles; Medición de voltaje y corriente; Detección y localización de fallos;
Línea eléctrica	Medición del voltaje y corriente
Alumbrado público	Medición del voltaje y corriente

El despliegue de estos dispositivos tendrá en cuenta cuestiones como la privacidad y la seguridad necesaria para proteger la información recogida por el sistema. Estos datos serán recogidos en tiempo real y permitirán que las instalaciones puedan llevar a cabo diagnósticos inteligentes del estado del sistema, detección de fallos y un mayor conocimiento de la utilización de la energía proveniente de fuentes de energía renovables locales.

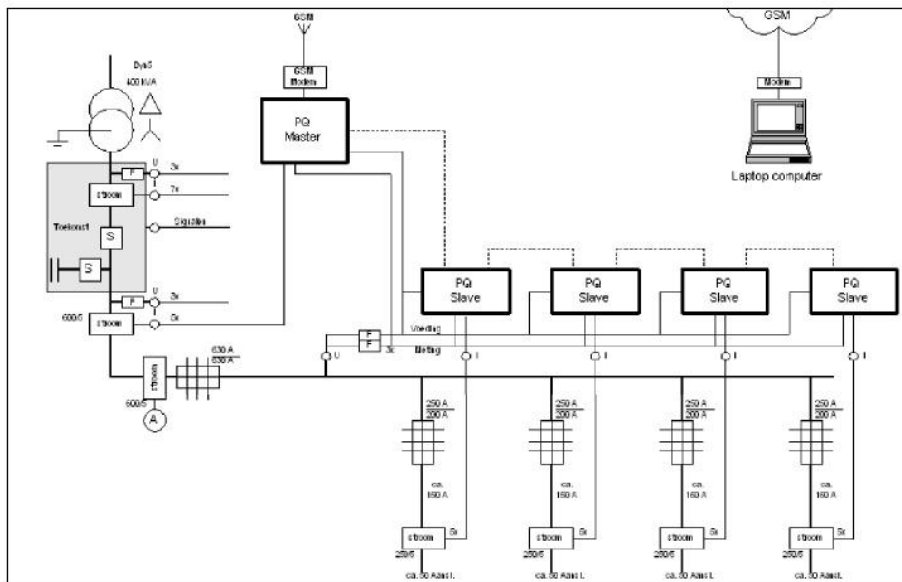


Figura 4. Configuración eléctrica de la red original de Bronsbergen

El segundo demostrador está situado en Bronsgergen, Países Bajos. En él se validarán el sistema de balanceo de carga así como los mecanismos de seguridad y tolerancia a

fallos. El escenario consiste en un conjunto de casas residenciales cuyo sistema eléctrico se muestra en la Figura 4. Algunas de estas casas vienen equipadas con placas fotovoltaicas y sistemas para el almacenamiento de la energía. Este escenario cumple todos los requisitos para llevar a cabo un despliegue completo de la plataforma que se desarrollará en este proyecto y en esencia persigue estimar la producción de energía y la configuración de los dispositivos de almacenamiento de energía en base a parámetros de consumo y otras variables como las condiciones climáticas (fuerza del viento, posición del sol, etc.). Para ello, es necesario desplegar sistemas inteligentes de medición en las casas así como equipos especializados para interrumpir y controlar el uso de la energía en cada hogar.

Adicionalmente, está planeado el uso de un tercer demostrador en un entorno de laboratorio para probar el sistema en un entorno simulado (pero haciendo uso de datos reales) más pequeño y reproducible donde se puedan llevar a cabo las primeras pruebas con un conjunto variado de condiciones. En este último escenario está previsto simular una versión reducida de la red eléctrica junto a un conjunto de usuarios (algunos cientos). Cada usuario puede ser consumidor y productor. También pueden existir otros tipos de participantes como grandes productores de energía, propietarios de infraestructuras y distribuidores.

En todos estos escenarios se planea la recogida de datos climáticos ya que el estado del tiempo influye en la producción de energía. Esta recogida de datos se llevará a cabo como mínimo durante un año para incluir datos sobre todas las estaciones.

6. Conclusiones

Los objetivos del proyecto e-balance son buscar soluciones para mejorar la eficiencia energética tanto de las futuras y presentes viviendas residenciales como de las ciudades inteligentes que se están diseñando para el futuro, teniendo en cuenta tanto aspectos técnicos como no-técnicos. El objetivo es desarrollar un sistema integral para mejorar la eficiencia energética que tenga en cuenta los hábitos de las personas ya que estos influyen de manera muy directa en el uso de la energía que necesitan para realizar sus tareas cotidianas. Esto por tanto hace necesario no solo tener en cuenta la parte técnica sino llevar a cabo además un análisis de los aspectos socioeconómicos.

A grandes rasgos, este proyecto pretende ayudar a conseguir el reto energético marcado por la agenda europea para 2050.

Referencias

[Andrew Goudie, 2013] Andrew Goudie, "The human Impact on the natural Environment".

[Bitar et al, 2011] E. Bitar, P. P. Khargonekar, K. Poolla, "Systems and Control Opportunities in the Integration of Renewable Energy into the Smart Grid", Proc. of 18th IFAC World Congress, pp. 4927 - 4932, 2011

[DENISE] <http://www.cenit-denise.org/>

[ENRIMA] <http://enrma-project.eu>

[E3SH] <http://www.e3soho.eu>

[HOU3E] <http://www.3ehouses.eu>

[Kavgic et al, 2010] M. Kavgic, A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic, M. Djurovic-Petrovic, A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, Building and Environment, Volume 45, Issue 7, July 2010, Pages 1683-1697, ISSN 0360-1323.

[SEEDS] <http://www.seeds-fp7.eu>

[SMARTCITY] <http://www.endesasmartgrids.com/index.php/es/2013-06-28-es>

[Swan y Ugursal, 2009] “Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Volume 13, Issue 8, October 2009, Pages 1819-1835, ISSN 1364-0321.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Manuel Díaz Rodríguez

Phone: +34-95-2131394

Fax: +34-95-2131397

E-mail: mdr@lcc.uma.es