

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



**INTEGRACIÓN Y GESTIÓN DE RECURSOS
DISTRIBUIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS
DE REDES INTELIGENTES**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Ing. Diana Georgina Ghenno Barajas

2013

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

**Máster Universitario en
Ingeniería de Redes y Servicios Telemáticos**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**INTEGRACIÓN Y GESTIÓN DE RECURSOS
DISTRIBUIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS
DE REDES INFORMÁTICAS Y DE
COMUNICACIONES**

Autor

Ing. Diana Georgina Ghenno Barajas

Director

Ing. Francisco González Vidal

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

2013

Resumen

Hoy en día, más de un cuarto de siglo después de la llamada crisis del petróleo, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como resultado, países como Estados Unidos, Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan la energía solar de manera directa o indirectamente a través de sus manifestaciones secundarias. Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, México cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales

En la planeación del Sector Eléctrico Nacional, las estimaciones de demanda y consumo de energía eléctrica para el mediano y largo plazos constituyen un insumo fundamental para dimensionar y diseñar de manera óptima la expansión de capacidad de generación, transmisión y distribución. Con el objetivo de satisfacer, con calidad, confiabilidad y estabilidad, las necesidades de energía eléctrica de la población. Adicionalmente, el marco legal del sector exige explorar nuevas opciones en la planeación del sector eléctrico, orientadas al impulso de medidas y acciones concretas que diversifiquen la matriz energética del país y disminuyan el impacto ambiental del sector. Es importante mencionar, que la instalación de nuevas plantas privadas de autoabastecimiento y cogeneración influye de manera importante en la expansión del SEN, pues será necesario incrementar la capacidad de reserva y adaptar la red eléctrica para proporcionar los servicios de transmisión y respaldo que las plantas requieren.

El enfoque de este trabajo está orientado a la integración y desarrollo sustentable en los sistemas distribuidos de energía eléctrica en la construcción de una urbanización que será capaz de generar y autoabastecer de electricidad, al mismo tiempo que se verán beneficios ambientales y económicos para los sectores que participan.

Se incluye el análisis necesario para determinar las herramientas y parámetros que garantizarán una planeación real y basada en las tendencias globales del sector energético. Esta investigación también permite conocer los avances sobre las tecnologías en el ámbito de los vehículos eléctricos enchufables, la generación eléctrica a partir de la energía eólica y solar, así como la sinergia de las mismas para proveer beneficios sólidos a las redes inteligentes y optimizar la capacidad de almacenamiento de energía e inserción a la red eléctrica.

Esta arquitectura nos permitirá contemplar:

- Los escenarios que se presentan para comercializar los excedentes en la autogeneración de energía eléctrica y el papel que juegan los responsables de estos servicios.
- Los componentes disponibles y la tendencia en la evolución tecnológica a mediano plazo.
- Características de las componentes del sistema en términos de demanda eléctrica por vivienda y por cantidad de carga.
- Procesamiento de la información, requerimientos de comunicación y gestión en la infraestructura propuesta.
- Generación, producción y almacenamiento de energía eléctrica para diferentes escalas en el tiempo.

Abstract

Currently, more than one quarter of a century after the so-called crisis of oil, many of use of renewable energy technologies have matured and evolved, increasing its reliability and improving their profitability for many applications. As a result, countries like the United States, Germany, Spain and Israel have a very rapid growth in the number of facilities that use solar energy directly or indirectly through their secondary manifestations. In addition to the wealth of fossil energy, Mexico has a very significant potential in terms of renewable energy resources, whose development will allow the country to having a greater diversification of energy sources, to broaden the industrial base in an area that may have strategic value in the future, and mitigate environmental impacts resulting from the production, distribution and end-use of conventional forms of energy.

In the planning of the National Electricity Sector, estimates of demand and consumption of electric power for the medium and long terms constitute a fundamental input for sizing and design the expansion of generation, transmission and distribution capacity in an optimal way. With the aim of satisfying, with quality, reliability and stability, the needs of electric power of the population. Additionally, the legal framework of the sector requires to explore new options in the electricity sector planning, the promotion of measures and specific actions that diversify the country's energy grid and decrease the environmental impact of the sector-oriented. It is important to mention, that the installation of new plants deprived of self-sufficiency and cogeneration influences significantly the expansion of Senna, then it will be necessary to increase the reserve capacity and adapt the electrical network to provide services of transmission and support required by plants.

The focus of this work is oriented to the integration and sustainable development in distributed systems of electrical energy in the construction of a housing development that will be able to generate and supply electricity, at the same time that will be environmental and economic benefits for the sectors involved.

Includes the analysis necessary to determine the tools and parameters that will guarantee a real and planning based on global trends in the energy sector. This research also allows to know the advances of technologies in the field of plug-in electric vehicles, power generation from wind and solar as well as the synergy of the same to provide solid benefits for intelligent networks and optimize storage capacity. energy and inclusion to the mains.

This architecture will allow us to see:

- The scenarios that are presented to market the self-generation of electricity surpluses and the role of those responsible for these services.
- Available components and the trend in the technological evolution in the medium term.
- Characteristics of the components of the system in terms of electricity demand by housing and amount of load.
- Processing of information, communication and the proposed infrastructure management requirements.
- Generation, production and storage of electrical energy for different time scales.

Índice general

Resumen	i
Abstract.....	v
Índice general.....	vii
Índice de figuras.....	xi
Siglas	xiii
1 Introducción.....	155
1.1 Objetivos del proyecto.....	16
1.2 Escenario.....	17
1.3 Esquema general.....	17
1.4 Contexto del proyecto.....	18
1.4.1 Generación eléctrica de permisionarios.....	18
1.4.2 Consumo Nacional de Energía Eléctrica.....	19
1.4.3 Comportamiento horario y estacional de la demanda eléctrica.....	20
1.4.4 Tendencia en la utilización de combustibles y otras fuentes primarias para generación de electricidad.....	21
1.4.5 Marco regulatorio del Sector Eléctrico.....	22
1.4.6 Instrumentos de regulación del Sector Eléctrico.....	23
1.4.7 Energías renovables.....	25
1.4.7.1 Energía eólica.....	25
1.4.7.2 Proyectos eólicos de CFE.....	26
1.4.7.3 Energía Geotermoeléctrica.....	27
1.4.7.4 Energía Solar.....	27

1.4.7.5 Otras fuentes de energía.....	28
2 Virtual Power Plant (Central Eléctrica Virtual)	¡Error! Marcador no definido.8
2.1 Sistemas de Integración de recursos energéticos distribuidos.....	31
2.1.1 Regulación de la generación distribuida.....	31
2.1.2 Integración de energías renovables (RES).....	32
3 Vehículos eléctricos.....	¡Error! Marcador no definido.3
3.1 Funcionamiento de los vehículos eléctricos.....	33
3.1.1 Vehículos híbridos eléctricos (HEV).....	33
3.1.2 Vehículos híbridos enchufables (PHEV).....	33
3.1.3 Vehículos totalmente enchufables.....	34
3.2 Infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.....	35
3.2.1 Tipos de carga.....	35
3.2.2 Modos de carga.....	37
4 Comuniación con redes inteligentes (Smart Grid).....	38
4.1 Soluciones con TIC's.....	40
4.1.1 Programas de respuesta a la demanda.....	42
4.2 Microgrid.....	43
5 Modelo de negocio para sistemas energéticos distribuidos.....	44
5.1. Tarifas horarias para el servicio de energía eléctrica.....	45
5.1.1.1 Servicios en media tensión con demanda de 100 kW o más.....	45
6 Diseño e implementación de la propuesta.....	48
6.1 Esquema actual de transporte y distribución de la energía eléctrica.....	50
6.2 Consumos de energía eléctrica.....	52
6.3 Sistemas inteligentes.....	55
6.4 Sistema de almacenamiento.....	57
6.5 Autogeneración de energía eléctrica.....	58

6.6 Sistema de gestión y medición inteligente.....	59
6.6.1 Escenarios de evaluación.....	61
6.7 Sistema de control para la gestión eficiente de la microrred.....	62
6.8 Comunicaciones y gestión del broker de comunicaciones.....	64
6.8.1 Gestión de la energía en el hogar basado en ZigBee.....	65
7 Evaluación del impacto económico de la propuesta e inversiones realizadas.....	65
8 Conclusiones.....	69
9 Trabajos futuros.....	71
Bibliografía.....	72

Índice de figuras

Figura 1. Modelo de Referencia para el sistema de comunicaciones de la urbanización.....	17
Figura 2. Consumo nacional de energía eléctrica 2000-2011.....	20
Figura 3. Curvas típicas de carga horaria respecto a la demanda máxima. Áreas operativas del Sur (promedio de las áreas: occidental, oriental, central y peninsular).....	21
Figura 4. Fuentes de energía para la generación eléctrica mundial 2008-2035 (TWh).....	22
Figura 5. Modalidades de permiso e instrumentos de regulación.....	23
Figura 6. Central eólica La Venta II.....	26
Figura 7. Componentes de una Central Eléctrica Virtual. Fuente: Siemens	29
Figura 8. Comparativa de características en las redes eléctricas.....	34
Figura 9. Modo 1.....	37
Figura 10. Modo 2.....	37
Figura 11. Modo 3.....	38
Figura 12. Modo 4.....	38
Figura 13. Concepto de un sistema Smart Grid.....	39
Figura 14. Arquitectura Self-Healing. Infraestructura integrada de protección y control con sistemas multiagentes.....	40
Figura 15. Características de un agente.....	40
Figura 16. Esquema de un sistema multiagente.....	41
Figura 17. Cuotas aplicables (pesos) a nivel nacional en México para 2012-2013.....	46
Figura 18. Tarifa ordinaria para media tensión (tarifa OM).....	48
Figura 19. Tarifa horaria para media tensión (tarifa HM).....	48
Figura 20. Esquema de transporte y distribución de la energía eléctrica.....	50
Figura 21. Gráfica de consumo de energía eléctrica durante un día periodo Abril Octubre.....	54
Figura 22. Gráfica de consumo de energía eléctrica durante un día periodo Octubre-Abril.....	54
Figura 23. Gráfica de la distribución del consumo de energía eléctrica para una vivienda, durante un día.....	55
Figura 24. Distribución de la velocidad del viento.....	56
Figura 25. Distribución de la velocidad del viento.....	57
Figura 26. Distribución de la velocidad del viento.....	59

Figura 27. Arquitectura del núcleo del sistema.....	61
Figura 28. Servicios del agente de control inteligente de los sistemas de energía con generación distribuida.....	63
Figura 29. Plataforma de intermediación.....	64

Índice de figuras

Tabla 1. Comparativa de características en las redes eléctricas.....	29
Tabla 2. Horarios para tarificación del servicio eléctrico primavera-verano, Zona Central de México.....	46
Tabla 3. Horarios para tarificación del servicio eléctrico otoño-invierno, Zona Central de México.	47
Tabla 4. Tarifas exclusivamente domésticas.....	48
Tabla 5. Comparativa técnica entre la red tradicional y la red inteligente para distribución de energía eléctrica.....	51
Tabla 6. Consumos de energía eléctrica en electrodomésticos básicos en una vivienda.....	53
Tabla 7. Consumos de energía eléctrica en iluminación básicos en una vivienda.....	53
Tabla 8.. Consumo de energía anual para diferentes distribuciones de velocidades del viento.....	56
Tabla 9. Parámetros para carga de batería.....	58
Tabla 10. Rendimiento de los vehículos eléctricos enchufables.....	58
Tabla 11. Costes en equipo eléctrico y de comunicaciones.....	67
Tabla 12. Tarifa aplicada y demanda correspondiente al periodo Abril- Octubre. El detalle aparece por hora.....	67
Tabla 13. Tarifa aplicada y demanda correspondiente al periodo Octubre-Abril. El detalle aparece por hora.....	68
Tabla 14. Gasto en energía eléctrica, aproximada, por la urbanización (\$ USD).....	68
Tabla 15. Balance de costes de generación con respecto a la facturación tradicional.....	69

Siglas

CFE: Comisión Federal de Electricidad

SEN: Sistema Eléctrico Nacional

PIE: Productores Independientes de Energía

VPP: Virtual Power Plant/ Planta virtual de Energía

CSI: Consumidores/suministradores Individuales

LSPEE: Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

PEMEX: Petróleos Mexicanos

CRE: Comisión Reguladora de Energía

LAERFTE: Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética)

CE: Central Eléctrica

CHP: Combined Heat and Power

DG: Distributed Generators/ Generadores Distribuidos

DSO: Distribution System Operator/Operador del Sistema de Distribución

CAPEX: Capital Expenditure/Inversiones en bienes de capitales

OPEX: Operating Expense/Gastos de funcionamiento

RES: Renewable Energy Sources

PEV: Power Electric Vehicle

HEV: Hybrid Electric Vehicle

SAVE: Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico

BT: Baja Tensión

CC: Corriente Continua

CA: Corriente Alterna

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación.

LV: Línea viva

kW: Kilowatt

DAC: De Alto Consumo

IED: Dispositivos Electrónicos Inteligentes

IEC: International Electrotechnical Commission

DR: Respuesta a la Demanda

ABMS: Modelado y Simulación Basado en Agentes

ESS: Energy Storage Systems/Almacenamiento energético

DER: Distributed Energy Resources

CORBA: Common Object Request Broker Architecture

SNMP: Simple Network Management Protocol.

M2M:Machine to Machine

AMR: Automatic Meter Reading

SCADA: Supervisory Controls and Data Acquisition

1 Introducción

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa paraestatal, encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar la energía eléctrica en todo el territorio mexicano. Cabe destacar que ésta empresa es la más grande del sector eléctrico en Latinoamérica.

En 2011, el consumo de energía eléctrica en el país ascendió a 229,318 GWh. Éste fue 7.2% superior al observado en 2010 y 11.2% mayor a 2009, año en donde se presentó una contracción de la demanda debido a la recesión económica. Asimismo, en 2011 el incorporaron al servicio de energía eléctrica más de medio millón de nuevos clientes en el área central del país²⁰, tanto por la regularización como por la conexión de nuevos servicios. Los sectores de mayor incremento en consumo de electricidad en 2011 fueron el bombeo agrícola y la gran industria, con aumentos de 27.6% y 11.6%, respectivamente. En el periodo 2000-2011 el consumo para bombeo presentó una tasa de 3.0% promedio anual.⁴

Tomando como base el destino final de la energía eléctrica generada, el Sistema Eléctrico (SEN) está conformado por el sector público y aquella energía no suministrada al servicio público (privados). El sector público se integra por la infraestructura de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las centrales construidas por los Productores Independientes de Energía (PIE), los cuales entregan la totalidad de su producción eléctrica a la CFE para suministro en el servicio público. El otro sector agrupa las modalidades de cogeneración, autoabastecimiento, usos propios continuos, pequeña producción, importación y exportación. De estas modalidades, el autoabastecimiento es el que cuenta con mayor capacidad, y considera a los sectores industrial, comercial y, particularmente, el sector servicios, donde se ha registrado un importante incremento en el número de permisos y capacidad instalada durante los últimos años.

La infraestructura del SEN, en términos de su cadena de valor, se conforma de las siguientes fases: generación, transformación y transmisión en alta tensión, distribución en media y baja tensión, así como ventas a usuarios finales, que incluye procesos de medición y facturación.

1.1 Objetivos del proyecto

- Diseñar un sistema energéticamente eficiente a través de la interoperabilidad de la red convencional y la tecnología VPP (Virtual Power Plant) en el sector eléctrico de CFE (México).
- Determinar qué opciones para generación de energías renovables son las más adecuadas para los fines de este proyecto.
- Obtener capacidad de autoabastecimiento en una urbanización propuesta que sea capaz de satisfacer la demanda eléctrica interna y optimizar su uso.
- Proponer los protocolos de comunicaciones y tecnologías necesarios para gestionar de manera inteligente la energía que es captada por cada elemento que conforma la Smart Grid (Redes Inteligentes) para concentrar y determinar el excedente energético que puede ser insertado a la red eléctrica para equilibrar la demanda y el mercado eléctrico.
- Demostrar la confiabilidad, viabilidad y necesaria tendencia al uso de la “Virtual Power Plant” a través de la integración de recursos energéticos distribuidos.
- Utilizar las potenciales ventajas y características que los vehículos eléctricos ofrecen para optimizar la red eléctrica y disminuir costos e impacto ambiental.

1.2 Escenario

Los actores de mi modelo de referencia son:

- Consumidores/Suministradores individuales de energía (CSI): vehículos eléctricos, casas con generadores solares y eólicos.
- Punto de agregación de energía: aparcamientos de la urbanización propuesta.
- Operadores de Telecomunicaciones.
- Operador de la Red Eléctrica Nacional (Comisión Federal de Electricidad).

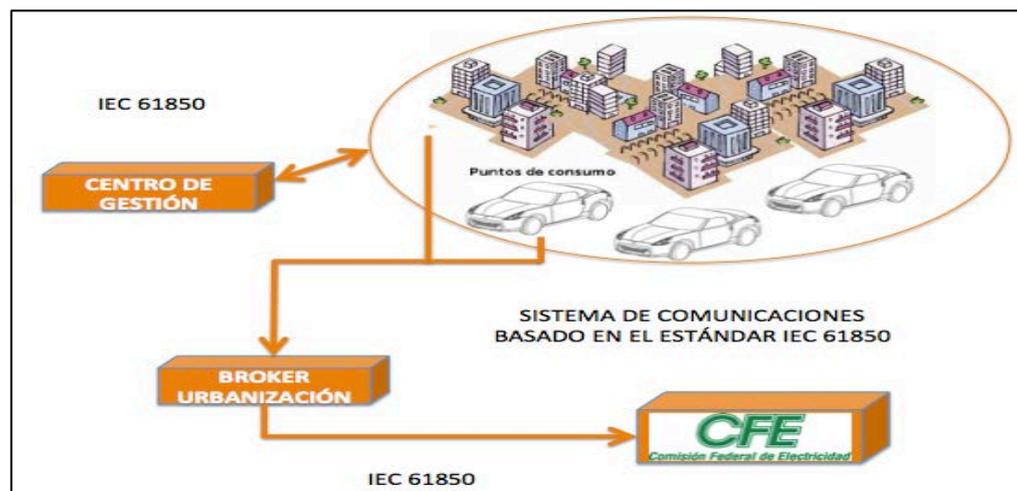


Figura 1. Modelo de Referencia para el sistema de comunicaciones de la urbanización.

1.3 Esquema general

La propuesta estará basada en las tecnologías utilizadas actualmente en las redes inteligentes así como los protocolos que permiten interconectar las redes eléctricas con las redes de comunicaciones.

Se realizará el análisis correspondiente de las energías correspondientes que sean más convenientes con el objetivo de que en la urbanización se tenga un sistema de autogeneración de energía eléctrica que sea sustentable.

Revisaremos cuáles son las tendencias de las tecnologías en sistemas VPP y los sistemas de gestión para sistemas distribuidos de generación de energía eléctrica. Los modelos de negocio tienen también un papel importante en la implementación de este proyecto ya que, finalmente, se esperan reducciones en costos de mantenimiento, operación y gestión en la producción de energía eléctrica. Este impacto se ve reflejado también en la reducción de costos para los usuarios de la micro red mediante un sistema de tarifas más flexible y con la posibilidad de apertura del mercado eléctrico nacional y a favor de legislación y acciones políticas que faciliten la implementación de las energías renovables.

Con la integración de los sistemas, se analizarán los requerimientos del mercado y qué se puede implementar a partir de esa demanda y las necesidades reales. Se pondrá un sistema de tarificación que permita la validación de los conceptos aplicados en un entorno real, que en mi caso, es el diseño de la urbanización.

Finalmente, concluiremos con los resultados del análisis de consumos, de la inversión total que requiere una implementación de esta naturaleza y de los obstáculos que se pueden presentar.

1.4 Contexto del proyecto

1.4.1 Generación eléctrica de permisionarios

En 2011, la capacidad instalada para generación eléctrica por parte de los permisionarios alcanzó 9,058.3 MW, sin considerar PIE, es decir 2.8% menor que lo registrado en 2010. Esto se debió a una disminución de capacidad de prácticamente todos los permisionarios, con excepción de aquellos que figuran en la modalidad de usos propios continuos, que incrementaron su capacidad 1.4%, y aquellos con permisos de exportación permanecieron sin cambio. Las diferentes modalidades de permisionarios son autoabastecimiento, cogeneración, producción independiente, pequeña producción, importación y exportación de energía eléctrica. Los permisos de autoabastecimiento satisfacen las necesidades propias de personas físicas o morales pertenecientes a una sociedad permisionaria. Éstos ponen a disposición de la CFE sus excedentes de producción.⁴

Los permisos de cogeneración se otorgan para generar energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambos. La cogeneración también abarca la energía térmica no aprovechada en los procesos que se utiliza para la producción directa o indirecta de energía eléctrica o cuando se utilizan combustibles producidos en sus procesos para la generación directa o indirecta de energía eléctrica. La electricidad generada bajo esta modalidad es destinada a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la generación, siempre que se incrementen las eficiencias energética y económica de todo el proceso y que la primera sea mayor que la obtenida en plantas de generación convencionales. Al igual que los auto abastecedores, éstos deberán poner a disposición de la CFE sus excedentes de producción.

Los permisos de producción independiente se otorgan para generar energía eléctrica destinada a su venta a la CFE, quedando ésta legalmente obligada a adquirirla en los términos y condiciones económicas que se convengan. Los permisos en esta modalidad deberán contar con proyectos que se incluyan en la planeación de la CFE.

Los permisos de pequeña producción de energía eléctrica se otorgan para generar no más de 30 MW, y la totalidad de la generación se destina para su venta a la CFE, en una ubicación determinada. Alternativamente, considera la electricidad destinada a pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carecen de la misma y que la utilicen para su autoconsumo, siempre que los interesados constituyan cooperativas de consumo, copropiedades, asociaciones o sociedades civiles, o celebren convenios de cooperación solidaria para dicho propósito y que los proyectos, en tales casos, no excedan de 1 MW.

Los permisos de importación y exportación de energía eléctrica se otorgan con la finalidad de abastecer exclusivamente usos propios; puede incluir la conducción, la transformación y la entrega de la energía eléctrica. El uso temporal de la red del SEN por parte de los permisionarios solamente se efectúa previo convenio celebrado con la CFE, cuando ello no ponga en riesgo la prestación del servicio público ni se afecten derechos de terceros.

1.4.2 Consumo Nacional de Energía Eléctrica

Para determinar el consumo de energía eléctrica del país, se integran conceptos que difieren entre sí por el origen de la energía generada y el destino de la misma. De esta manera, el consumo nacional de energía está conformado por lo siguiente:

- Las ventas internas de energía eléctrica constituyen la energía suministrada a los usuarios a partir de recursos de generación del servicio público, donde se incluye la energía generada por los productores independientes de energía.

- El autoabastecimiento comprende la energía generada por los permisionarios de autoabastecimiento en las modalidades de cogeneración, usos propios continuos, pequeña producción e importación y exportación.

En 2011, el consumo nacional de energía eléctrica alcanzó 229,318 GWh, lo que representó un aumento de 7.2% con relación a 2010. Este incremento derivó del comportamiento de las ventas internas, con un crecimiento de 7.7% con relación a 2010 y un crecimiento promedio anual de 2.4% para el periodo 2000-2011. A su vez, el crecimiento en las ventas fue resultado de la incorporación, tanto por la regularización como por la conexión de nuevos usuarios, de más de medio millón de nuevos clientes en el área central del país al servicio de energía eléctrica.

Por su parte, el consumo autoabastecido registró un incremento de 3.6% en el último año, con lo que alcanzó 27,092 GWh, es decir, 937 GWh por arriba de lo registrado en 2010. Durante el periodo 2000-2011, éste creció 8.5% promedio anual como se muestra en la siguiente figura.

Concepto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	tma
Consumo nacional	166,376	169,270	172,566	176,992	183,972	191,339	197,435	203,638	207,859	206,263	213,970	229,318	3.0
<i>variación anual (%)</i>	<i>6.7</i>	<i>1.7</i>	<i>1.9</i>	<i>2.6</i>	<i>3.9</i>	<i>4.0</i>	<i>3.2</i>	<i>3.1</i>	<i>2.1</i>	<i>-0.8</i>	<i>3.7</i>	<i>7.2</i>	
Ventas internas ¹	155,349	157,204	160,203	160,384	163,509	169,757	175,371	180,469	183,913	182,518	187,814	202,226	2.4
<i>variación anual (%)</i>	<i>7.1</i>	<i>1.2</i>	<i>1.9</i>	<i>0.1</i>	<i>1.9</i>	<i>3.8</i>	<i>3.3</i>	<i>2.9</i>	<i>1.9</i>	<i>-0.8</i>	<i>2.9</i>	<i>7.7</i>	
Autoabastecimiento	11,027	12,066	12,363	16,608	20,463	21,582	22,064	23,169	23,946	23,745	26,155	27,092	8.5
<i>variación anual (%)</i>	<i>1.5</i>	<i>9.4</i>	<i>2.5</i>	<i>34.3</i>	<i>23.2</i>	<i>5.5</i>	<i>2.2</i>	<i>5.0</i>	<i>3.4</i>	<i>-0.8</i>	<i>10.1</i>	<i>3.6</i>	

Figura 2. Consumo nacional de energía eléctrica 2000-2011

Fuente: CFE

1.4.3 Comportamiento horario y estacional de la demanda eléctrica

La carga global de un sistema está constituida por gran número de cargas individuales de diferentes tipos (industrial, residencial, comercial, entre otros). Los instantes respectivos de conexión y desconexión de estas cargas son aleatorios, pero la

potencia requerida en un periodo dado por el conjunto de cargas sigue un patrón determinado, que depende del ritmo de las actividades en las regiones atendidas por el SEN.

La introducción de tarifas horarias para clientes industriales y el horario de verano, propiciaron un cambio en los patrones de consumo que se reflejaron en una reducción de las cargas durante las horas de mayor demanda, con lo cual se logró un mejor aprovechamiento de la capacidad. En la Figura 3, las curvas muestran el comportamiento típico de la carga en el Sur del país para días laborales y no laborales en invierno y verano.

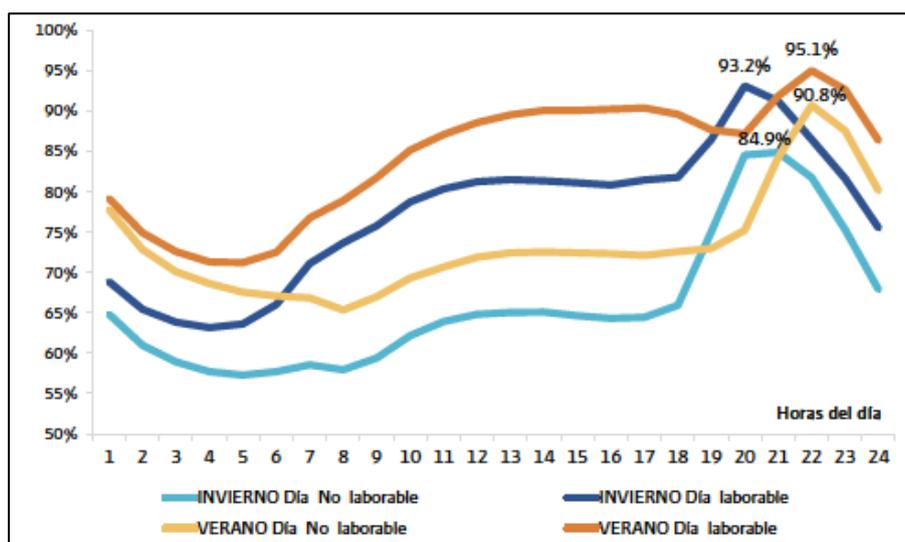


Figura 3. Curvas típicas de carga horaria respecto a la demanda máxima. Áreas operativas del Sur (promedio de las áreas: occidental, oriental, central y peninsular).

Fuente: CFE

1.4.4 Tendencia en la utilización de combustibles y otras fuentes primarias para generación de electricidad

El uso de la energía para generación de electricidad depende de diferentes factores que varían de una región a otra, tal es el caso de la disponibilidad de recursos económicamente competitivos, la volatilidad en los precios de los energéticos, la disponibilidad de los combustibles y el impacto social, así como la normatividad de cada país, donde el tema ambiental es relevante. En este contexto, las estimaciones indican que durante los próximos años los combustibles de mayor empleo para la generación de electricidad en el mundo serán el carbón y el gas natural, así la utilización de combustibles derivados del petróleo presentarán un decremento paulatino, como es el caso del combustóleo.

Se espera que durante el periodo 2008-2035, las energías renovables tendrán el mayor crecimiento en la generación eléctrica con una tasa estimada en 3.1% anual (Figura 4); su participación pasará de 21.4% a 28.7% entre 2008 y 2035, convirtiéndolas en la segunda fuente de generación en 2035. Por el contrario se espera que el carbón y los petrolíferos reduzcan su participación en dicho periodo. Para el caso de la energía nuclear, ésta se mantendrá prácticamente en el mismo nivel.¹

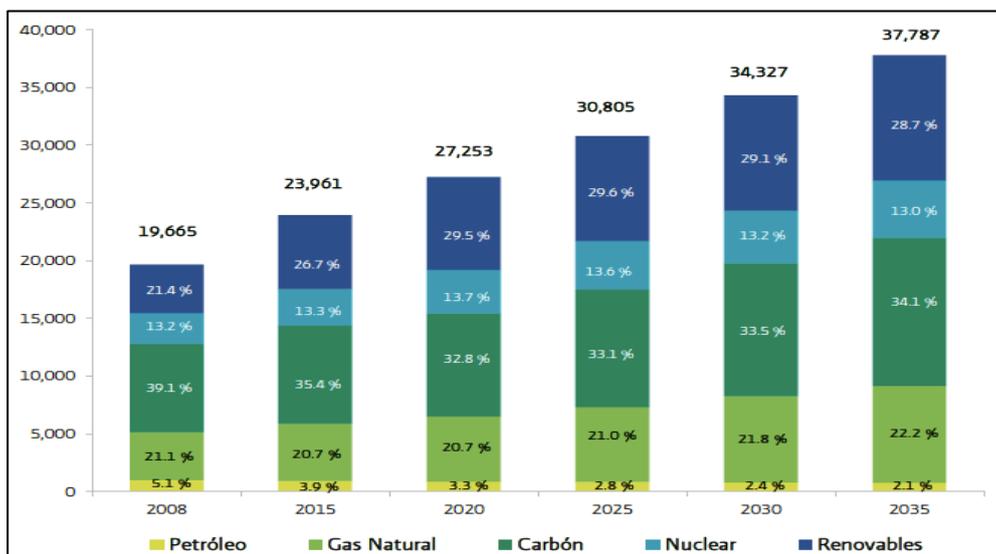


Figura 4. Fuentes de energía para la generación eléctrica mundial 2008-2035 (TWh).

Fuente: International Energy Outlook 2011, Energy Information Administration U.S.

1.4.5 Marco regulatorio del Sector Eléctrico

De acuerdo con lo establecido en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) y su Reglamento, las modalidades bajo las cuales los particulares pueden tramitar y, en su caso, obtener permisos para la generación e importación de energía eléctrica, son el autoabastecimiento, la cogeneración, la producción independiente, la pequeña producción, la exportación y la importación.

Estas modalidades de generación eléctrica se interrelacionan con el suministrador (CFE) mediante los instrumentos de regulación que establecen los lineamientos y mecanismos necesarios (Figura 3).

Las modalidades de autoabastecimiento y cogeneración representan opciones para aprovechar capacidades aún no explotadas, como incrementar la eficiencia térmica de procesos industriales, optimizar el uso de combustibles, reducir emisiones, garantizar estabilidad en frecuencia y voltaje, entre otras. Por ejemplo, para diversas ramas

industriales y para PEMEX, la posibilidad de generar energía eléctrica mediante cogeneración, representa una opción importante que permite incrementar la eficiencia de sus procesos y con ello la competitividad de las empresas.

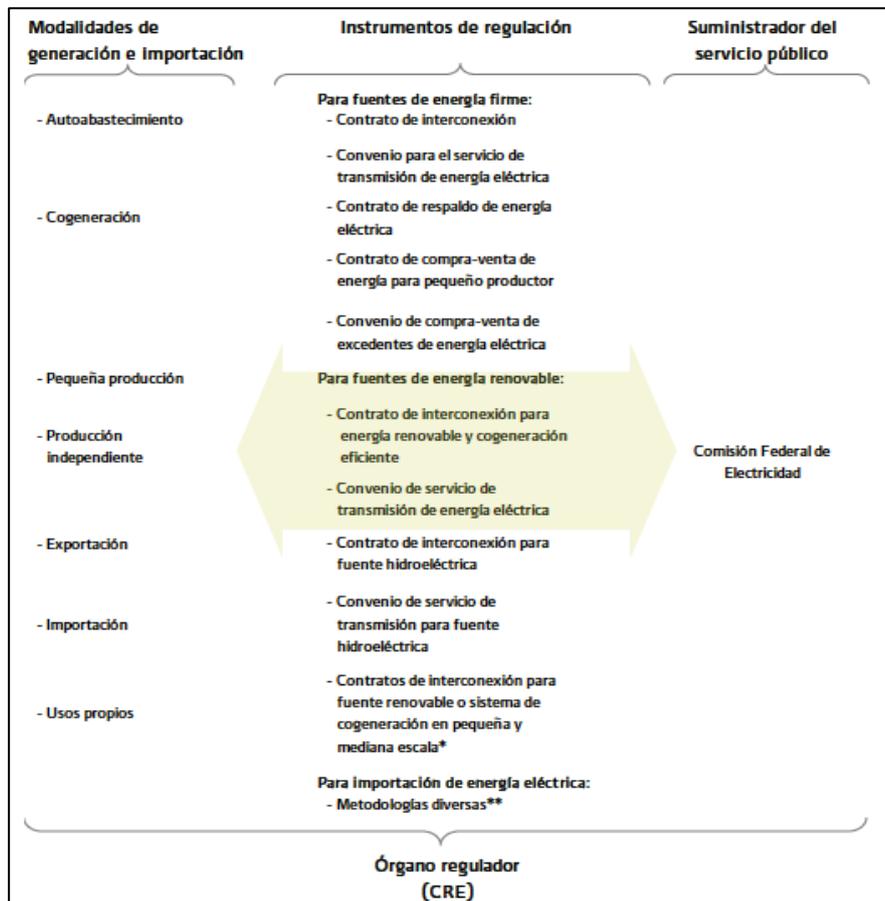


Figura 5. Modalidades de permiso e instrumentos de regulación.

1.4.6 Instrumentos de regulación del Sector Eléctrico

El marco cuenta con diversos instrumentos mediante los cuales los permisionarios pueden solicitar la interconexión al SEN que funciona como un mecanismo facilitador para la participación de particulares en la generación de electricidad. A través de estos instrumentos, los permisionarios cuentan con una mayor flexibilidad en sus operaciones de generación e importación de energía eléctrica, así como con la factibilidad de interconectarse con la red del servicio público, y la certeza de contar con energía eléctrica de respaldo y la posibilidad de entregar sus excedentes al sistema¹⁷.

En 2001, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) aprobó un modelo de contrato específico para fuentes renovables de energía con la finalidad de fomentar el desarrollo en proyectos de generación de energía eléctrica. Estos instrumentos consideran las características de este tipo de fuentes de energía, como la disponibilidad intermitente

del energético primario, y establece conceptos aplicables únicamente a dichas fuentes, tales como::

- Energía sobrante.- Cuando un permisionario entrega a sus centros de consumo una cantidad de energía mayor que la correspondiente a su potencia comprometida de porteo o cuando la demanda de los centros de consumo sea menor a la potencia entregada en el punto de interconexión.

- Energía faltante.- Cuando una fuente de energía no satisface la potencia de compromiso de porteo con sus centros de consumo.

- Potencia Autoabastecida.- Se reconoce la capacidad que la fuente de energía renovable aporta en las horas de máxima demanda del SEN.

De acuerdo con la LAERFTE (Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética) y con la LSPEE, para el caso de fuentes de energía renovable, es posible realizar compensaciones de energía faltante con energía sobrante; es decir, si existe energía sobrante neta en un mes, ésta puede utilizarse para compensar faltantes de meses posteriores, haciendo un corte anual. De esta forma y dada la intermitencia de estas fuentes, el contrato considera la flexibilidad de estos intercambios.

Como resultado de lo establecido en la LAERFTE, con fecha 28 de abril de 2010, se publicó en el DOF la Resolución por la que la CRE expide el Modelo de Contrato de Interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente y sus anexos (F-RC, IB-RC, TB-RC), así como el Modelo de Convenio para el Servicio de Transmisión de Energía Eléctrica para Fuente de Energía. Dichos instrumentos, además de ser aplicables a energías renovables, se hacen extensivos a proyectos de cogeneración eficiente.

Los proyectos de generación renovable y cogeneración eficiente producirán beneficios tales como:

- Aprovechamiento de las fuentes de energía renovable del país.
- Cuidado del medio ambiente y la salud de los habitantes.
- Desarrollo de la capacidad industrial de México y la creación de empleos.
- Cumplimiento de los compromisos internacionales del país en materia ambiental y de cambio climático.
- Diversificación del parque de generación eléctrica.
- Disminución de la variabilidad de los costos de generación de electricidad.
- Participación social y privada en la inversión económica requerida por el sector eléctrico para satisfacer la demanda nacional.
- Disminución de la dependencia nacional de los hidrocarburos, y
- El desarrollo rural en regiones cercanas a fuentes de energías renovables.

1.4.7 Energías renovables

1.4.7.1 Energía Eólica

Desde hace mucho tiempo hemos aprovechado la energía del viento (o energía eólica) en aplicaciones como el transporte con velas, la molienda de granos y el bombeo de agua, pero fue hasta hace relativamente pocos años, que se desarrolló la tecnología para transformar esta energía en electricidad a gran escala.

El proceso consiste en atrapar la energía cinética asociada al viento y transformarla en otra fuente de energía como la mecánica o la eléctrica. Esta tecnología ha evolucionado desde finales del siglo XIX hasta alcanzar costos muy competitivos, que le han permitido posicionarse en los mercados eléctricos internacionales y complementar la oferta eléctrica mundial.

Además de las dimensiones, los principales cambios que están teniendo los generadores eólicos el día de hoy son reflejo del avance que se tiene en materiales para su fabricación y la evolución de los álabes, rotores, generadores y sistemas de control.

Existen dos técnicas principales a partir de las cuales se ha buscado transformar la energía eólica en electricidad:

a) La primera, que utiliza una máquina generadora de eje horizontal apoyada en lo alto de una estructura, cuyo rotor está provisto con álabes o palas que le permiten capturar la energía cinética del viento. Esta es la tecnología más estudiada y utilizada en el planeta dado que permite capturar vientos de alturas superiores, donde son más ricos, y su instalación y mantenimiento presenta menos complicaciones, y

b) La segunda, que utiliza un generador de eje vertical apoyado en el suelo con un rotor igualmente provisto de álabes que le permiten capturar la energía.

La tecnología continúa avanzando a través del aumento en las dimensiones y eficiencia de las máquinas, pasando de las primeras que tenían una capacidad medida en decenas de kilowatts, hasta máquinas de varios Mega watts que operan al día de

hoy. De igual forma, la explotación de este recurso renovable ha migrado desde las zonas con viento en tierra hacia otras más complejas como el mar abierto.

Así como otras fuentes de energía renovable, la energía eólica presenta ventajas importantes para cualquier matriz energética debido a sus costos, a que no produce emisiones de gases de efecto invernadero y a que no está sujeta a la volatilidad de los precios de los combustibles. En cambio, presenta desventajas en su intermitencia, la distancia entre las zonas de viento y las redes eléctricas, la contaminación visual y auditiva que produce y el impacto que puede tener en la fauna que habita las zonas de viento o utilizan este recurso como una guía en sus migraciones anuales. El mercado eólico mundial ha demostrado que esta tecnología y la industria asociada a ella pueden convertirse en una importante fuente de empleos, inversión, desarrollo tecnológico, integración industrial y creadora de nuevas empresas e infraestructura para el país, con beneficios ambientales.

México cuenta con uno de los potenciales más altos de generación de energía eólica a nivel mundial. Particularmente la región del Istmo de Tehuantepec presenta velocidades de viento ideales para este tipo de generación.

1.4.7.2 Proyectos eólicos de CFE

La Central CE La Venta I, está en operación comercial desde el año 1994 (fue la primera en América Latina) y cuenta con 7 aerogeneradores, cada uno con capacidad de producción de 225 kW, conformando un total de 1.575 MW.



Figura 6. Central eólica La Venta II

La Central CE La Venta II está en operación comercial y cuenta con 100 aerogeneradores, cada uno con una capacidad de producción de 850 kW, conformando un total de 83.3 MW.

La Central CE La Venta III está en etapa de pruebas de puesta en servicio y cuenta con 121 aerogeneradores, cada uno con una capacidad de producción de 850 kW, conformando un total de 102.85 MW. La Central CE Oaxaca I está en etapa de pruebas de puesta en servicio y cuenta con 51 aerogeneradores, cada uno con una capacidad de producción de 2 MW, conformando un total de 102 MW. Las Centrales CE Oaxaca II, III y IV están en operación comercial desde el primer trimestre del año 2012 y cuentan con 68 aerogeneradores. Estos tienen una capacidad de producción individual de 1.5 MW, conformando un total de 306 MW. ²

1.4.7.3 Energía Geotermoeléctrica

Actualmente México es el 4to país en generación de electricidad por este tipo de fuente. El Total en Generación Geotermoeléctrica en el país es de 886.6 MW y la principal central es Cerro Prieto con una capacidad de generación de 645MW en Mexicali, Baja California. El resto de la capacidad geotérmica se encuentra principalmente en los siguientes tres sitios:

- 192MW en Los Azufres, Michoacán.
- 40MW en Los Humeros, Puebla.
- 10MW en Tres Vírgenes, Baja California Sur.

1.4.7.4 Energía solar

El potencial de energía solar en México es uno de los más altos del mundo. Alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m² al día, más del doble del promedio de los Estados Unidos de América. La generación de electricidad a partir de energía solar, generalmente se realiza mediante la utilización de dos tipos de sistemas: fotovoltaicos, a través de la conversión directa a través de celdas, principalmente, de silicio, y termo solares, a través del calentamiento de fluidos y utilizando una turbina de vapor.

En los últimos años, la utilización de sistemas fotovoltaicos ha registrado significativos avances. La mejora en los materiales y procesos de fabricación de las celdas fotovoltaicas ha permitido una reducción en los costos de generación de energía eléctrica. Actualmente, es una tecnología viable para sitios alejados de la red de energía eléctrica y aplicable a electrificación y telefonía rural, señalización terrestre y marítima, bombeo de agua y protección catódica, entre otros usos.

Para el año 2013 se espera contar con 25 MW instalados y 14 GWh/ año de generación. Al igual que la tecnología fotovoltaica, la termosolar presenta crecientes perspectivas de aplicación, y aun cuando en México no existen proyectos para generar electricidad a partir de esta tecnología, los resultados de la planta experimental de 10 KW (colectores cilíndricos parabólicos) del Instituto de Ingeniería de la UNAM, revelan grandes oportunidades para la utilización de la misma, principalmente en la región noroeste del país.

La Central Agua Prieta II - Ciclo combinado es un proyecto localizado en Agua Prieta, Sonora, con capacidad de la central es de 549 MW, de los cuales 14 MW son provenientes de energía solar térmica, la tecnología utilizada es un canal parabólico Central solar fotovoltaica de 1 MW, Sta. Rosalía, Baja California Sur

Esta central entró en operación en 2012 y sus principales características son:

- Capacidad: 1 MW
- Superficie de captación: 10,000 m²
- Vida útil: 20 años

1.4.7.5 Otras fuentes de energía

Mini-hidroeléctricas: son consideradas mini-hidroeléctricas aquellos proyectos hidroeléctricos con una capacidad menor a los 30 MWs y que tienen un bajo impacto en los ecosistemas colindantes al proyecto. CFE trabaja en la identificación de nuevos sitios susceptibles para desarrollar este tipo de proyectos y que puedan ser interconectados al sistema eléctrico aprovechando su alto factor de planta.

Biomasa y Biogás: es factible generar energía mediante la utilización del gas metano generado en rellenos sanitarios y de las actividades agrícolas. CFE trabaja mediante la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil en los estudios necesarios para desarrollar este tipo de proyectos a nivel nacional.

Undimotriz: en 2012 se licitó una central undimotriz de 3 MW, esta central se ubicará en Rosarito, BC. La tecnología que se utilizará es la denominada piezoeléctrica-mareomotriz.

2 Virtual Power Plant (Central Eléctrica Virtual)

Son redes inteligentes de electricidad que pueden integrar las acciones de todos los usuarios conectados entre sí (generadores, consumidores y ambos) a fin de suministrar electricidad sustentable, económica y segura (Figura 2).

Los generadores colectivos de energía renovable pueden almacenar y ajustar la salida de la energía eléctrica en demanda. La VPP puede emplearse para producir en cogeneración con la red inteligente u operar solamente para producir energía confiable, eficiente, rentable reduciendo costos e impacto en el calentamiento global.

¿En donde está la “inteligencia”?

- Nuevas tecnologías y soluciones en comunicaciones, datos, control, etc.
- Mejor uso y planificación de instalaciones existentes.
- Control masivo inteligente y distribuido de generadores y cargas.
- Nuevos servicios y mejoras en eficiencia energética.

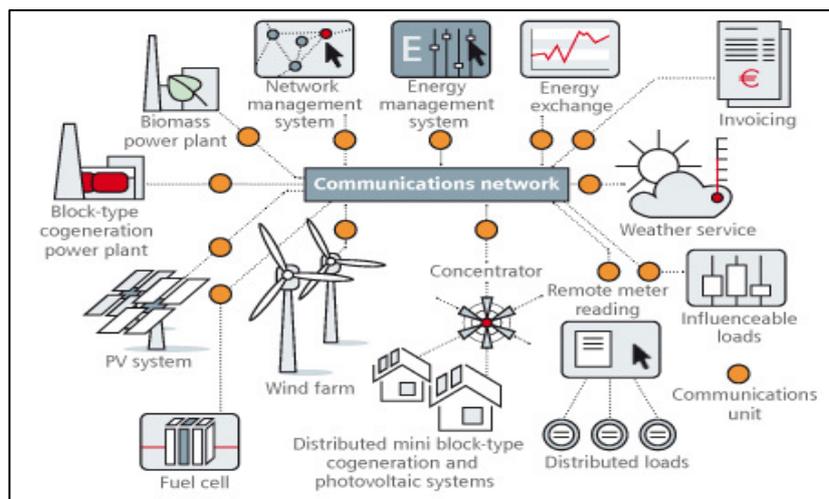


Figura 7. Componentes de una Central Eléctrica Virtual. Fuente: Siemens

Parámetros	Red convencional	Red inteligente
Comunicaciones	Ninguna o unidireccional	Bidireccional
Interacción con el cliente	Limitada	Mayor
Modo de medición	Electromecánica	Digital

Operación y Gestión	Equipo manual de control	Monitoreo remoto
Soporte fuente de alimentación	Generación centralizada	Generación distribuida y centralizada
Control de flujo de energía	Propenso a fallas y apagones	Protección adaptativa y aislante
Restauración	Manual	Autorecuperación
Topología	Radial	Red

Tabla 1. Comparativa de características en las redes eléctricas.

Tecnologías:

- Infraestructura de comunicaciones
- Medida y supervisión
- Control avanzado
- Interfaz con operadores y usuarios

Componentes:

- Normalización
- Generación distribuida
- Calidad de Servicio
- Medidores inteligentes
- Gestor de energía (energy box)
- Microgrids
- Agregadores de productos y servicios

Agentes involucrados:

- Consumidores finales: demandan mejores precios y calidad (en ciertos segmentos).
- Operadores de redes: transporte y distribución: requieren invertir en nuevas tecnologías y soluciones. Necesitan marco regulatorio claro y estable.

- Comercializadores y empresas de servicios energéticos: se podrá ofrecer nuevos servicios: gestión de energía, eficiencia, precios a medida del usuario.
- Promotores de generación especial: renovable y CHP: integración eficiente y segura de su producción proporcionando nuevos servicios.
- Fabricantes de equipos: nuevas tecnologías y oportunidades de negocio.
- Reguladores: negocios regulados de redes: incentivar inversión y eficiencia.
- Negocios en competencia: eliminar barreras de entrada.

2.1 Sistemas de integración de recursos energéticos distribuidos

Los cambios en las políticas ambientales y de liberalización de los mercados energéticos conducen hacia un mayor nivel de integración entre la energía térmica/gas natural y los servicios de energía eléctrica. La disponibilidad de nuevas tecnologías hace conveniente la idea de combinar pequeños generadores ambientalmente compatibles, situados cerca de las cargas en el suministro de energía térmica y eléctrica.

En esta perspectiva, un número de generadores distribuidos (DG) integrado en la red de distribución puede agruparse en una planta de energía virtual para tener la capacidad de venta de energía térmica y eléctrica a clientes vecinos. El objetivo principal de un VPP sería para coordinar los recursos energéticos diferentes para satisfacer los requerimientos del cliente con la generación de menor costo, que significa:

- Para explotar en cualquier momento todos los recursos renovables disponibles estocástico (energía eólica, energía solar, etc.)
- Cuan sea necesario, para integrar la generación con recursos fósiles dando prioridad a las unidades económicamente más eficientes.

Esto implica una variación continua, durante el día, de la cantidad y ubicación dentro de la red de la energía generada que pueda afectar el funcionamiento de la red en cuanto a cargas de regulación y la línea de voltaje.

Por lo tanto, en el marco de un sistema de distribución de una VPP sería gestionar la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, así como otras fuentes dispersas, si están presentes, con respecto a las limitaciones de la red sobre la base de los precios de generación de varios tipos de DG; los principales costos de intercambio en la red energética y el Operador del Sistema de Distribución (DSO; de sus siglas en inglés) se llaman costos “Wheeling”.

2.1.1 Regulación de la generación distribuida

Para el Operador del Sistema de Distribución:

- Incrementar las inversiones en bienes capitales para crear beneficios (CAPEX).

Se ejecuta cuando una empresa invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible. Los CAPEX son utilizados para adquirir o mejorar los activos fijos tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales:

- Análisis en los gastos de funcionamiento y de operación de los productos y negocios que se derivan de un planteamiento con la generación distribuida.
- Incrementar CAPEX y OPEX incluidos en el esquema de remuneración, es decir, refuerzos del sistema, pérdidas, medidores inteligentes, etc)
- Dirección general de integración en la planificación de la red.
- Incentivos para programas de innovación y participación en la operación de la red.
- Necesidad de códigos de red para distribución.

Para los propietarios/operadores de los generadores distribuidos (DG):

- Evitar tarifas planas e incentivos para participar en la operación de la red.

2.1.2 Integración de energías renovables (RES)

Los requisitos técnicos para dicho proceso son:

- Huecos de tensión: es la reducción brusca de la tensión en una fase y posterior recuperación de la misma en milisegundos.
- Centros de control y gestión RES.
- Previsión de mejora en las herramientas.
- Aumento de la capacidad de interconexión.
- Tecnologías para contribución de almacenamiento de energía eléctrica.
- Participación RES en los sistemas de potencia.
- Mayor flexibilidad y respaldo de las plantas de generación eléctrica convencionales (gas y carbón).

3 Vehículos eléctricos

Existen razones y motivaciones para el desarrollo alternativo de fuentes de energía y sistemas de propulsión asociados a los vehículos para reducir la dependencia generalizada del petróleo.

Las motivaciones incluyen seguridad energética y costos relacionados, con el impacto ambiental incluyendo el cambio climático global y los derrames de petróleo), calidad del aire y los costos asociados con la importación y transporte de petróleo.

El Vehículo Eléctrico (PEV) se presenta como alternativa de futuro en cuanto a transporte urbano se refiere, trae consigo una disminución considerable del consumo energético, y sobre todo trae la disminución de la contaminación medioambiental en las grandes ciudades. Otra fuente de contaminación ambiental es la contaminación acústica. Este factor desaparece prácticamente mediante la utilización de automóviles eléctricos extremadamente silenciosos.

El agotamiento de los recursos energéticos como es el petróleo, produce un encarecimiento del producto que repercute en las economías de los países y que les hace buscar otras alternativas en otros recursos energéticos.

Una de las mayores limitaciones actuales en el automóvil eléctrico para la generalización de los vehículos eléctricos es el coste de las baterías su autonomía y su

capacidad, en comparación con el automóvil actual. Ambos parámetros provienen de la falta de un sistema de almacenamiento de energía óptimo.

3.1 Funcionamiento de los vehículos eléctricos

3.1.1 Vehículos híbridos eléctricos (HEV)

Equipan un motor de combustión interna y un motor eléctrico de imán permanente.

- En marcha constante, el motor impulsa tanto al tren motor como al motor eléctrico. Una variación electrónica de la multiplicación. Regula un régimen óptimo para ambos motores.

- En los adelantamientos se obtiene potencia adicional del motor eléctrico, alimentado por las baterías. En la frenada, el motor eléctrico actúa como generador, recuperando parte de la energía cinética.

- A bajas velocidades sólo el motor eléctrico impulsa el vehículo, con cero emisiones. Al parar, el motor de combustión se apaga, no consumiendo combustible. Al arrancar, el motor eléctrico suministra un par no alcanzable a bajas revoluciones por el de gasolina.

3.1.2 Vehículos híbridos enchufables (PHEV)

La evolución de los sistemas de baterías híbridos permitirán la conexión de los Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV), para recorrer las primeras decenas de km de un viaje, a partir de energía obtenida de la red eléctrica.

3.1.3 Vehículos totalmente enchufables (EV)

Las actuales capacidades de las baterías hacen que los Vehículos Totalmente Eléctricos (EV) se perciban como de limitada utilidad por su autonomía y tiempos de recarga necesarios.

- En un escenario de alta penetración de EVs, con alta fosilización del mix eléctrico, se podrían ahorrar un 46% de emisiones de CO₂ en 2050.

- Se considera el posible uso de los EVs como almacén energético como una importante sinergia con las renovables.

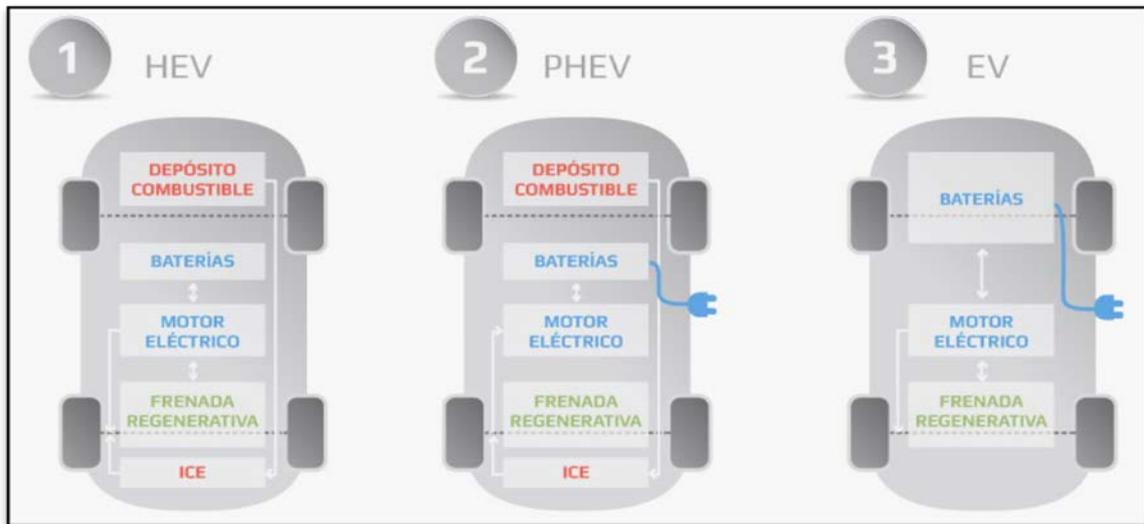


Figura 8. Comparativa de características en las redes eléctricas.

Fuente: Endesa

3.2 Infraestructura de recarga para vehículos eléctricos

La gran mayoría de los procesos de recarga se van a realizar en el entorno doméstico, con una potencia igual o inferior a 3,7 kW (monofásica de 16 A) y una duración de unas 6 u 8 horas para una recarga completa. Este tipo de recarga se realizará por medio de un cable especial suministrado con el vehículo (carga en Modo 2) junto con las tomas de corriente habituales en entorno doméstico o industrial, o bien por medio de un pequeño dispositivo permanentemente conectado a la red de suministro de c.a. (carga en Modo 3), denominado “wallbox”.

Este “wallbox” ofrece una seguridad adicional a la que ofrece un simple enchufe doméstico y a su vez, puede estar dotado de un medidor de energía para posibilitar una discriminación de tarifas, así como funcionalidad avanzada relativa a la gestión de la demanda. Este es también el escenario para los aparcamientos comunitarios y de ámbito laboral.

No obstante, debido a que en sus fases iniciales, el vehículo eléctrico va a ser de uso fundamentalmente urbano, donde muchos vehículos carecen de garajes, parece conveniente la reserva de plazas públicas en vías o aparcamientos públicos, incluyendo la instalación de puntos de recarga en las aceras que permitan realizar la recarga de los vehículos a aquellos usuarios que no dispongan de un aparcamiento subterráneo.

Adicionalmente a esta oferta de infraestructura privada y pública, también es previsible la realización de recargas en el lugar de trabajo y en centros de ocio: centros comerciales, restaurantes, gimnasios... Con el fin de resultar más atractiva a los usuarios, es previsible que esta infraestructura esté dotada de una potencia de carga mayor, principalmente en versión trifásica, hasta los 22 kW (32 A por fase), ofreciendo la recarga completa de un vehículo en tiempos aproximados inferiores a 2 horas.

3.2.1 Tipos de carga

Relacionado con la potencia del punto de recarga e impacta en la duración de la carga. A mayor potencia menor tiempo de recarga.

Recarga convencional

La recarga convencional aplica niveles de potencia que implican una carga con una duración de unas 8 horas aproximadamente.

- La carga convencional monofásica emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel que la propia vivienda, es decir, 16 amperios y 230 voltios. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 3,6 kW.

- Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda unas 8 horas. Esta solución es óptima, fundamentalmente, para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda.

- Para conseguir que el vehículo eléctrico sea una realidad y teniendo en cuenta el sistema eléctrico actual, la recarga óptima desde el punto de vista de eficiencia energética, es realizar este tipo de recarga durante el período nocturno, que es cuando menos demanda energética existe.

Recarga rápida

El tipo de carga más adecuada es la recarga rápida, que supone que en 15 minutos se puede cargar el 65% de la batería.

- La carga rápida emplea una mayor intensidad eléctrica y, además, entrega la energía en corriente continua, obteniéndose una potencia de salida del orden de 50kW.

Esta solución es la que, desde el punto de vista del cliente, se asemeja a sus hábitos actuales de repostaje con un vehículo de combustión.

- Estas cargas deben ser concebidas como extensión de autonomía o cargas de conveniencia.
- Las exigencias a nivel eléctrico son mayores que en la recarga convencional. Lo que puede implicar la necesidad de adecuación de la red eléctrica existente.

3.2.2 Modos de carga

Modo 1. Carga en base de toma de corriente normalizada de hasta 16 A y de hasta 250 V de c.a. monofásica o 480 V de c.a. trifásica, y utilizando los conductores de potencia y de tierra de protección.

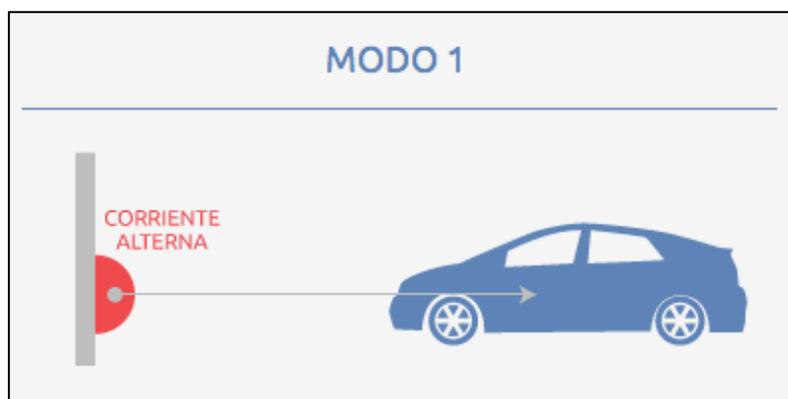


Figura 9. Modo 1

Modo 2. Carga en base de toma de corriente normalizada, de hasta 32 A y de hasta 250 V de c.a. monofásica o 480 V de c.a. trifásica, utilizando los conductores de potencia y de tierra de protección junto con una función piloto de control y un sistema de

protección para las personas contra la descarga eléctrica (DCR, dispositivo de corriente residual) como parte de la caja de control integrada en el cable.

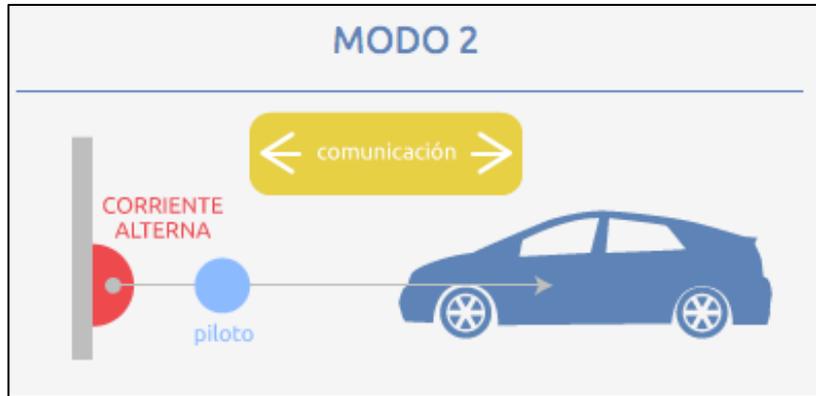


Figura 10. Modo 2

Modo 3. Carga utilizando un SAVE (Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico) dedicado, dotado de al menos una toma de corriente para uso exclusivo para recarga de vehículos eléctricos. La base de toma de corriente está provista de 5 ó 7 hilos conductores, según norma IEC 62192-2. Las funciones de control y protección están en el lado de la instalación fija. Máximo 64 A por fase.



Figura 11. Modo 3

Modo 4. Conexión en C.C. El VE se conecta a la red de Baja Tensión BT (c.a.) a través de un equipo que incluye un cargador externo que realiza la conversión c.a./c.c. en la instalación fija. Las funciones de control y protección están en el lado de la instalación fija. Este modo está pensado para carga rápida o muy rápida hasta 400 A.

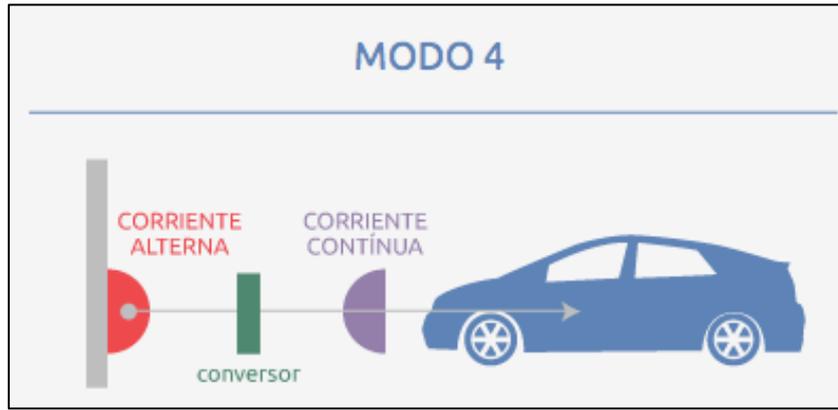


Figura 12. Modo 4

4 Comunicación con redes inteligentes (Smart Grid)

Un sistema Smart Grid integra tecnologías avanzadas de sensorización y adquisición de datos, método de control y comunicaciones en la red eléctrica.

Integra electricidad y comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación; suministra electricidad de calidad digital al usuario final. En este sentido, la red eléctrica debe estar siempre disponible, viva, interactiva, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en una red compleja de energía y comunicaciones en tiempo real.

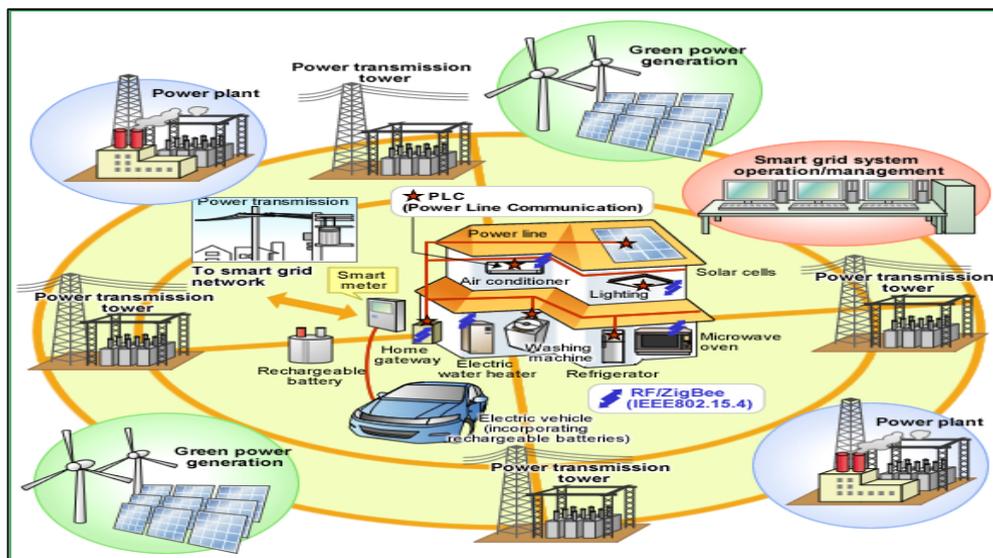


Figura 13. Concepto de un sistema Smart Grid.

Añadir “inteligencia” se refiere a integrar procesadores independientes en cada componente, en cada subestación y en cada planta. Los procesadores deberán ejecutar un Sistema Operativo robusto y aplicaciones que deben actuar como agentes que se comunican y cooperan por red de datos con otros, formando una plataforma de red distribuida.

La red del futuro debe:

- Permitir la autogestión de incidencias (self-healing).

Haciendo continuamente evaluaciones para detectar, analizar, responder y, cuando sea necesario, restaurar componentes o secciones de la red.

Minimización de las interrupciones del servicio empleando nuevas tecnologías que puedan adquirir datos, ejecutar algoritmos de soporte a la decisión, advertir o limitar interrupciones, controlar dinámicamente el flujo de energía y restaurar el servicio rápidamente.

- Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones.

Una red tiene capacidad de recuperación cuando ante cambios en su estructura o pérdida de nodos es capaz de mantener una interacción viva, conservando o reinventando su identidad y evitando el colapso de su funcionamiento.

- Potenciar la participación activa de los consumidores

- Tener la capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la “era digital”.

- Adaptarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento de energía eléctrica.

- Facilitar la proliferación del mercado energético.

- Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación.

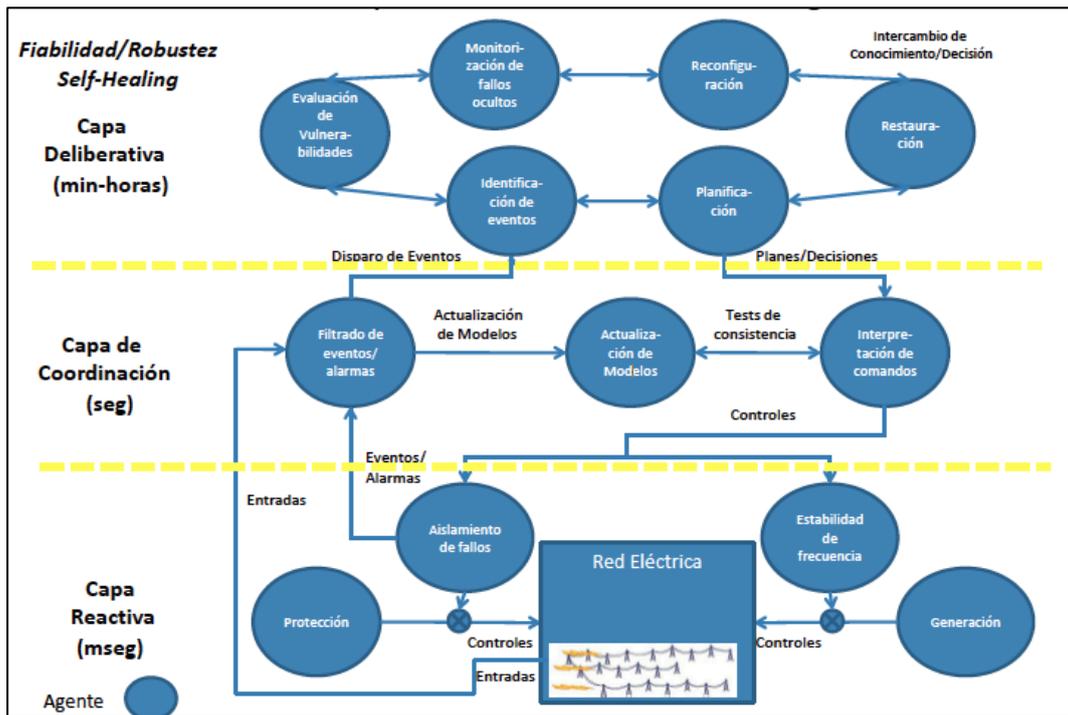


Figura 14. Arquitectura Self-Healing. Infraestructura integrada de protección y control con sistemas multiagentes.

4.1 Soluciones con TIC's

Se integran procesadores independientes en cada dispositivo, cada subestación y cada planta.

Los procesadores deberán ser capaces de soportar Sistemas Operativos robustos y aplicaciones que actúan como agentes que se comunican y cooperan a través de la red de datos con otros, formando así una gran plataforma de herramientas informáticas y computacionales distribuidas.

Concepto de Agente

Es una unidad computacional inteligente con capacidad de razonamiento y decisión autónoma, con su propios objetivos, estrategias, planes y capacidades de acción.

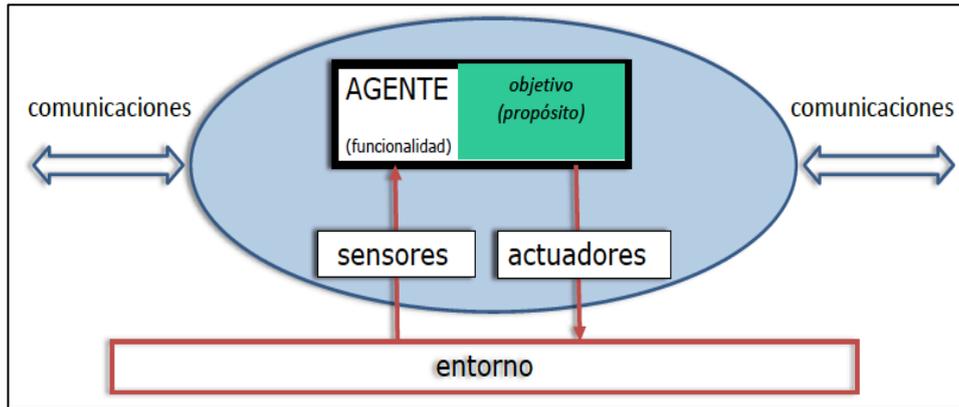


Figura 15. Características de un agente

Un agente tiene:

- Obligaciones impuestas por sus objetivos
- Percibe su entorno y es capaz de actuar sobre él.
- Puede comunicarse y cooperar con otros agentes.

Los sistemas multiagentes es un conjunto de agentes inteligentes con intereses y objetivos propios que interactúan entre sí con la intención de cumplir con sus obligaciones.

La plataforma distribuida de unidades toma de decisiones autónomas e interconectadas capaces de comunicarse y colaborar, es lo que se traduce en una mejora significativa en la operación de los sistemas descentralizados.

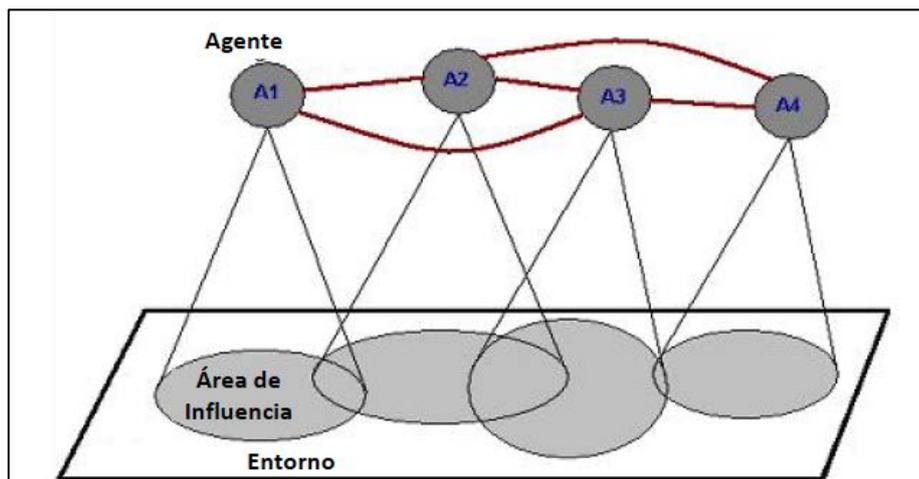


Figura 16. Esquema de un sistema multiagente.

La interoperabilidad o neutralidad tecnológica es una propiedad que puede predicarse de sistemas de naturaleza muy diferentes.

También es la capacidad de los sistemas TIC y de los procesos a los que apoyan, de intercambiar datos y posibilitar la puesta en común de información y conocimientos.

Las características de la red del futuro, deben contemplar implementar un sistema:

- Fiable
- Estable
- Económica
- Eficiente
- Respetuosa con el medio ambiente
- Segura
- Permitir la autogestión de incidencias

4.1.1 Programas de respuesta a la demanda

Con el primer paso para la implementación e incorporación de nueva tecnología al servicio de las redes inteligentes o “Smart Grid”, que incluye desde la generación distribuida hasta el vehículo eléctrico.

Los medidores inteligentes residenciales son medidores electrónicos de última generación que cuentan con comunicación bidireccional cliente-empresa y viceversa. Presentan mayores funcionalidades que los medidores electromecánicos tradicionales o los electrónicos, los cuales en general sólo registran la energía consumida.

A través de los medidores inteligentes, los consumidores residenciales pueden conocer en todo momento su consumo. Esta funcionalidad, sumada a la capacidad de programación que tiene esta tecnología, da pie al diseño de estructuras de tarifas flexibles horarias, tarifas que permitirán hacer un uso más eficiente de la energía. Adicionalmente, una de sus grandes potencialidades (por la comunicación bidireccional) es que se pueden leer y programar remotamente, minimizando los errores de lectura manual y disminuyendo la necesidad de que personal de terreno ingrese a las residencias.

En este módulo, se deben considerar algunas implementaciones, tales como:

- Medidores inteligentes bidireccionales
- Tarifas horarias (más opciones de compra)
- Un portal del consumidor
- Dispositivos de control de consumo
- Deslastre de cargas internas según prioridades y a requerimientos provenientes de la red

Si los consumidores están bien informados, modificarán sus patrones de consumo balanceando sus demandas con las capacidades del sistema eléctrico para satisfacerlas a través de mecanismos de premio-castigo en un modelo de mercado. Esto finalmente se traduce en el desplazamiento o recorte de picos de consumo y ahorros energéticos.

4.2 Micro grid

El cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero se han convertido en un problema reconocido de importancia internacional en los últimos años. Las energías renovables ofrecen una solución a este problema; sin embargo, su integración en las redes existentes viene con un nuevo conjunto de barreras, como la intermitencia de generación, el alto nivel de la distribución de las fuentes y la falta de algoritmos de control distribuido probada para administrar tal una generación altamente distribuida en base.

Históricamente, la red eléctrica ha sido una red de difusión (es decir, distribución de pocos a muchos), donde unos generadores de energía central (es decir, las centrales eléctricas) proporcionan toda la producción de electricidad en un país o región y luego mediante 'broadcast' esta electricidad llega a los consumidores a través de una amplia red de cables y transformadores.

Si la demanda aumenta por encima de la media, tienen que encender las plantas de pico que utilizan fuentes de energía no renovables (por ejemplo carbón plantas) para generar una fuente adicional de energía para hacer frente a la demanda. El aprovisionamiento de enfoque de carga pico es un desperdicio cuando la demanda promedio es mucho menor que el pico porque la electricidad, una vez producida, debe

ser consumida porque el almacenamiento de energía caro. En segundo lugar, la configuración y mantenimiento de las plantas de pico es, no sólo hostil el medio ambiente hostil, sino también costoso. Además, dada la creciente demanda de energía, puede ser difícil, quizás imposible en el largo plazo, para que coincida con la fuente de este pico de demanda. Es atractivo en tal situación, coincidir con la demanda para el suministro disponible usando tecnología de comunicación (comunicación bidireccional entre la red y las instalaciones del cliente) y proporcionar incentivos (por ejemplo, a través de precios variables) al consumidor y aplazar (reprogramación) la carga durante la época en que la demanda esperada es menor con el fin de mejorar la utilización de la capacidad disponible. Esto requiere el flujo de información de medición de las instalaciones del cliente a la red para identificar la demanda y la información de control (por ejemplo, información de precios) en la otra dirección para coaccionar al cliente en la adaptación de su demanda. Esto motiva la necesidad de una infraestructura de comunicaciones y protocolos para apoyar las funciones mencionadas.

Una micro red puede definirse como un sistema de distribución de baja tensión que puede estar conectada con sistemas pequeños de generación modular. En cierto sentido, corresponde a una asociación de cargas eléctricas y sistemas de generación pequeñas a través de una red de Distribución de LV. Esto significa que las cargas y fuentes están físicamente cercanos para que la micro red pueda interactuar, por ejemplo a la red de una pequeña zona urbana, a una industria o un gran centro comercial. En cuanto a las tecnologías actualmente disponibles, los sistemas de microgeneración pueden incluir varios tipos de dispositivos como las pilas de combustible, fuentes de generación renovables como aerogeneradores o sistemas fotovoltaicos, microturbinas (típicamente en el rango de 25-100 kW) accionadas por gas natural o los biocombustibles.

Además de estos componentes, una micro red puede incluir también equipos de almacenamiento, sistemas de control de la red y sistemas de recuperación de calor.

5 Modelo de negocio para sistemas energéticos distribuidos

El actual marco es de una fuerte irrupción de las energías renovables en la generación de energía eléctrica, con un constante descenso en los costes, el marco en el que se observa así mismo un continuo incremento de los costes de la energía eléctrica generada, transportada, distribuida y comercializada bajo el modelo tradicional. Se

puede observar a su vez la voluntad de reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones de gases tóxicos.

El coste de la energía (LCOE), es el coste (\$/kWh) de la energía eléctrica producida, teniendo en cuenta la inversión, los costes de operación, mantenimiento y financiero en un plazo determinado. Este criterio es válido para cualquier tarifa de la energía eléctrica, es decir, si es autoconsumo, inyección a la red o consumo de red.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{It + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}}$$

Donde:

It= Inversión

Mt= Coste de mantenimiento y operación

Et= Energía producida

R= Tasa de descuento

- Paridad con la Red

Coincidencia entre los costes de la energía eléctrica suministrada bajo el modelo tradicional y el coste la energía eléctrica (LCOE) auto generada con fuentes propias.

- Autoconsumo

Consumo de la propia energía eléctrica generada, pudiendo exportar a la Red la energía sobrante e importar la energía que nos pueda faltar.

- Balance Neto

Balance entre la energía exportada e importada en un sistema de Autoconsumo.

5.1.1 Tarifas horarias para el servicio de energía eléctrica

Analizamos el escenario vigente de tarificación para media y baja tensión, así como los parámetros que fijaremos para comercializar el excedente de la energía generada por la urbanización e incorporarla a la red eléctrica.

5.1.1.1 Servicio en media tensión con demanda de 100 kW o más.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más.

REGIÓN	CARGO POR KILOWATT DE DEMANDA FACTURABLE	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE PUNTA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA INTERMEDIA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE BASE
Baja California	\$ 256.70	\$ 2.1433	\$ 1.0972	\$ 0.8619
Baja California Sur	\$ 246.71	\$ 1.7196	\$ 1.5226	\$ 1.0775
Central	\$ 177.87	\$ 2.0543	\$ 1.2151	\$ 1.0158
Noreste	\$ 163.52	\$ 1.8974	\$ 1.1281	\$ 0.9241
Noroeste	\$ 167.02	\$ 1.9085	\$ 1.1193	\$ 0.9377
Norte	\$ 164.33	\$ 1.9111	\$ 1.1389	\$ 0.9261
Peninsular	\$ 183.79	\$ 2.0094	\$ 1.1415	\$ 0.9403
Sur	\$ 177.87	\$ 2.0118	\$ 1.1609	\$ 0.9659

Figura 17. Cuotas aplicables (pesos) a nivel nacional en México para 2012-2013.

Fuente: CFE

Mínimo mensual

El importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable al 10% de la demanda contratada.

Demanda contratada

Es establecida por el usuario y de acuerdo a sus necesidades; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

Los periodos de punta, intermedio y base se definen en cada región tarifaria para distintas temporadas del año, como se describe a continuación.

La región de nuestro interés es la CENTRAL, por lo que tenemos:

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre:

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a viernes	0:00- 6:00	6:00- 20:00 22:00- 24:00	20:00- 22:00
Sábado	0:00- 7:00	7:00- 24:00	

Domingo y festivo	0:00- 19:00	19:00- 24:00
--------------------------	-------------	--------------

Tabla 2. Horarios para tarificación del servicio eléctrico primavera-verano., Zona Central de México.

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril:

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a viernes	0:00- 6:00	6:00- 18:00 22:00- 24:00	20:00- 22:00
Sábado	0:00- 8:00	8:00- 19:00	19:00- 21:00
Domingo y festivo	0:00- 18:00	21:00- 24:00	

Tabla 3. Horarios para tarificación del servicio eléctrico otoño-invierno, Zona Central de México.

Demanda facturable:

$$DF= DP+FRI \times \max (DI- DP,0) + FRB \times \max (DB - DPI,0)$$

Donde:

DP es la demanda máxima medida en el periodo de punta.

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio.

DB es la demanda máxima medida en el periodo base.

DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio.

FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria.

Las cantidades para la región de interés son:FRI= 0.300 y FRB= 0.150

En las fórmulas que definen las demandas facturables, el símbolo “max”, quiere decir que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor de cero.

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinarán mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente.

Para las tarifas domésticas, todos los servicios que destinen energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la tarifa DAC (De Alto Consumo), conectadas individualmente a cada residencia, apartamento en condominio o vivienda.

Consumo básico	\$ 0.765	Por cada uno de los primeros 75 kWh
Consumo intermedio	\$ 0.936	Por cada uno de los 65 kWh
Consumo excendente	\$ 2.736	Por cada kWh adicional a los anteiores

Tabla 4. Tarifas exclusivamente domésticas.

Fuente: CFE

La tarifa OM (tarifa ordinaria) es utilizada para el servicio general en media tensión con demanda menos de 100 kW.

CARGOS	DIC./12	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
CENTRAL							
Demanda (\$/kW)	163.04	164.05	163.54	163.02	163.12	162.66	161.24
Energía (\$/kWh)	1.398	1.401	1.349	1.335	1.360	1.441	1.422

Figura 18. Tarifa ordinaria para media tensión (tarifa OM)

Fuente CFE

La tarifa HM (tarifa horaria) es utilizada para el servicio general en media tensión con demanda de 10 kW o más.

CENTRAL							
Demanda Facturable (\$/kW)	177.78	178.88	178.33	177.76	177.87	177.37	175.83
Energía Punta (\$/kWh)	2.0896	2.0973	2.0457	2.0299	2.0543	2.1305	2.1060
Energía Intermedia (\$/kWh)	1.2624	1.2633	1.2004	1.1849	1.2151	1.3170	1.2976
Energía Base (\$/kWh)	1.0553	1.0560	1.0034	0.9905	1.0158	1.1010	1.0848

Figura 19. Tarifa horaria para media tensión (tarifa HM).

6 Diseño e implementación de la propuesta

El funcionamiento definirá la demanda de consumo eléctrico durante el día para obtener la estimación mensual y anual de la urbanización.

El Broker controlará los clusters de CSI, con lo que determinaremos:

- Demanda de energía.
- Capacidad de suministro de energía.

El broker se encarga de negociar con el centro de gestión y el operador eléctrico el consumo o suministro, según sea el caso:

- Puede decidir suministrar energía localmente.
- Utilizar el excedente generado de energía eléctrica en su cluster para suministrar al operador, sirviendo de servicio auxiliar (suministro rápido en picos) para balancear la demanda en el mercado eléctrico.

La comunicación con los vehículos eléctricos enchufables puede utilizarse para:

- Reserva de puestos de recarga
- Planificación de las capacidades de las VPP.

La energía generada por los vehículos enchufables puede utilizarse para:

- Suministro local en la urbanización cuando haya demanda extra.
- Almacenar energía.

Las TIC's involucradas servirán para determinar los modelos de generación eléctrica y consumos así como la derivación de políticas para los diferentes actores en el proyecto.

Para el diseño, desarrollo y selección de las redes e interfaces se considera los siguientes componentes: CSI cluster, cluster broker, broker-operator y actores- centros de gestión.

La norma IEC 61850, es un estándar internacional de “Redes de Comunicación y Sistemas en Subestaciones”, que fue elaborado para el diseño de sistemas de automatización de subestaciones, el cual aplica tanto para subestaciones de transmisión como de distribución. Este estándar considera todas las necesidades de comunicación dentro de subestaciones requeridas para la implementación de funciones de control, protección y monitoreo, y define los requerimientos para la comunicación entre dispositivos electrónicos inteligentes (IED).

Lo anterior permite el diseño de la estructura de información de nodos lógicos, funciones y redes de comunicaciones realizada para CFE Distribución.

6.1 Esquema actual del transporte y distribución de la energía eléctrica

Tradicionalmente, la distribución de energía eléctrica se ha concebido como una estructura jerarquizada donde existe un centro de producción de energía, que finalmente abastece de forma unidireccional a diversos puntos de consumo.

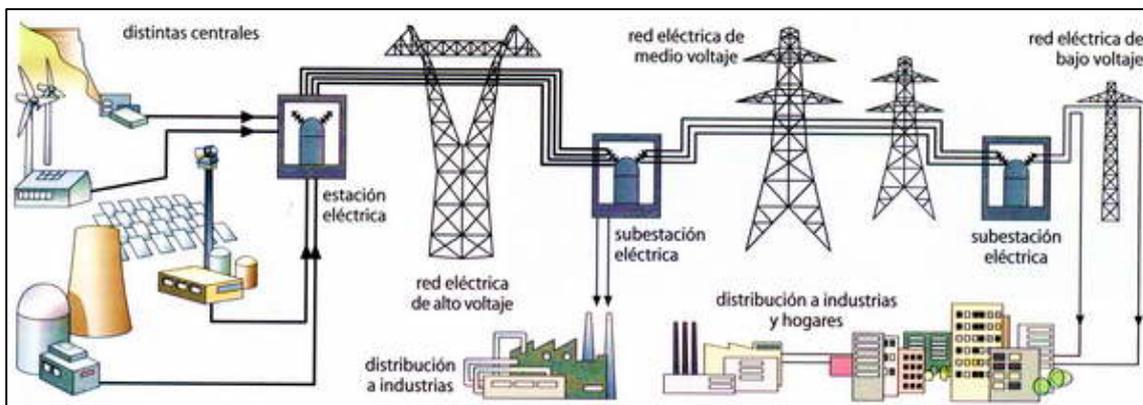


Figura 20. Esquema de transporte y distribución de la energía eléctrica

La desventaja principal es que dichos centros de producción, en la mayoría de las ocasiones, se encuentran muy alejados de los puntos de consumo lo que implica que la energía salve grandes distancias. Para ellos es necesario disponer de una compleja y costosa red de transporte e infraestructura que garantice la entrega al consumidor en condiciones óptimas para su uso.

Cabe señalar los principales inconvenientes de las redes tradicionales para la distribución eléctrica, que me han llevado a plantear la propuesta en este trabajo, entre estos puntos tenemos (ver figura):

- El almacenamiento a gran escala. Actualmente no contamos con sistemas que almacenen electricidad dado que la cantidad de energía que se produce, debe ser consumida sobre la marcha. Esto crea la necesidad de planificación continua de la producción de energía en todo momento con el objeto de AJUSTAR oferta y demanda en todo lo posible. Cuando no hay equilibrio entre oferta y demanda, se tienen impactos negativos o fallas sobre la red, como por ejemplo apagones o sobrecarga en las líneas.
- A medida que la electricidad va recorriendo mayores distancias, implica pérdidas por disipación de energía en forma de calor. Esto representa , aproximadamente un 10% de pérdida de energía tan sólo por transportarla.
- Otro factor y de los que considero de mayor impacto, tiene que ver con la actual infraestructura de distribución la cual requiere grandes inversiones para mantenimiento y operación de las mismas, además de que ambientalmente no son muy favorables.

Frente a esta problemática, la propuesta surge de crear un modelo de generación distribuida basado en una red donde actúan diversos puntos de consumo y que al mismo tiempo pueden funcionar como productores o consumidores.

	Red convencional	Red inteligente
Comunicaciones	Ninguna o unidireccional	Bidireccional
Interacción con el cliente	Limitada	Mayor
Modo de medición	Electromecánica	Digital
Operación y Gestión	Equipo manual de control	Monitoreo remoto
Soporte fuente de alimentación	Generación centralizada	Generación distribuida y centralizada
Control de flujo de energía	Propenso a fallas y apagones	Protección adaptativa y aislante
Restauración	Manual	Autorecuperación
Topología	Radial	Red

Tabla 5. Comparativa técnica entre la red tradicional y la red inteligente para distribución de energía eléctrica

Este sistema contempla una urbanización con 100 viviendas, con puntos de producción como micro generadores y paneles solares, y de almacenamiento como son las baterías de los vehículos eléctricos enchufables.

Con estos elementos, es posible implementar un sistema capaz de generar su propia energía y consumirla en el mismo punto para así abastecer sus propias necesidades. Además, el “sobrante” de la energía producida se puede inyectar en la red general para consumo de otros usuarios, o en caso contrario, cuando se necesite utilizar de la red general una cantidad de energía. Es así como nuestro sistema se transforma en una solución bidireccional y totalmente funcional con la demanda actual de mercado.

Una red con nuestras características resulta más flexible y con capacidad de adaptarse a la climatología del lugar, como lo es la velocidad del viento, la radiación solar, etc. Por otro lado, el flujo de electricidad es ajustado también a las necesidades de los consumidores quienes finalmente son los que verán reflejado el beneficio de este sistema, en la disminución considerable de sus facturas.

El concepto de Generación Distribuida (GD) concepto ha surgido debido a la evolución que ha tenido el sistema eléctrico y su definición se puede aproximar a la generación de energía a pequeña escala derivada de diversas fuentes, las cuales se encuentran cercanas a los consumidores finales.

Las ventajas que nos supone esta propuesta son en la reducción de pérdidas de energía en los sistemas de transporte y distribución eléctricos generando un ahorro significativo en la producción primaria de energía.

La generación descentralizada provee la utilización de fuentes de energía renovables y de sistemas modulares que permiten la simplicidad en la implementación, despliegue, flexibilidad en el funcionamiento así como facilidades en el mantenimiento y reparación de la infraestructura.

6.2 Consumos de energía eléctrica

La urbanización que hemos considerado para el diseño de nuestra propuesta, está compuesta por un centenar de viviendas construidas de tal forma que, desde materiales hasta dispositivos para generación eléctrica, obtengamos una disminución considerable y significativa en costos de consumo de energía.

Aprovechando las condiciones geográficas y climatológicas de la región que elegí, el diseño de nuestra red inteligente contemplará el funcionamiento de microgeneradores domésticos y paneles solares dispuestos para generar energía que podrá ser insertada en la red eléctrica convencional, o bien, almacenada en las baterías de los vehículos eléctricos para ser utilizada cuando la urbanización perciba “picos” de consumo energético.

Es así, de manera integral, se tiene un sistema de energía sustentable y capaz de satisfacer la demanda de energía en la urbanización, teniendo como opción, también, la “venta” de la energía generada como excedente.

El primer análisis corresponde a las cifras de consumos de energía eléctrica, en promedio, de un hogar y así, obtener las estimaciones del consumo en conjunto de la

urbanización y cuánta energía podemos insertar a la red eléctrica combinando el consumo de energías “verdes” y las energías convencionales.

Utilizar como fuentes de generación distribuida en la urbanización (fotovoltaica y eólica) nos permitirá implementar un sistema de generación y almacenamiento de energía en las de los vehículos eléctricos.

De acuerdo a las consideraciones en cuanto a consumo de electrodomésticos e iluminación en una vivienda unifamiliar al año es aproximadamente de 15,513 kWh .

Algunos electrodomésticos observan un comportamiento característicos a lo largo del día como:

- Lavadoras: hora punta entre las 10 y las 13 horas y entre las 19 y las 21 horas. En días festivos y en verano el consumo se concentra por las mañanas.
- Lavavajillas: hora punta en comidas y cenas, especialmente en las noches de días laborables.
- Frigoríficos: tienen un consumo muy lineal, pero el abrir sus puertas produce tres pequeños picos en las horas del desayuno, la comida y la cena.
- Modo stand by: el gasto de los aparatos "apagados-pero-encendidos" se concentra en las noches de los días festivos y en las noches y mañanas de los laborables.

Es conveniente calcular la potencia consumida por nuestras cargas, así que realizamos una distribución de datos como se muestra a continuación:

Cargas	Cantidad	Potencia (KW)	Horas de uso	kWh/día	Días de la semana	KWh/semana
Refrigerador	1	0.12	24.00	2.94	7.00	20.58
TV	5	0.07	12.00	4.20	7.00	29.40
DVD	2	0.03	3.00	0.15	4.00	0.60
Ordenadores de escritorio	2	0.30	6.00	3.60	7.00	25.20
Lavadora	1	0.40	1.00	0.40	3.00	1.20
Estéreo	3	0.08	6.00	1.35	7.00	9.45
Microondas	1	1.20	0.25	0.30	7.00	2.10
Plancha	1	1.00	3.00	3.00	2.00	6.00
Lámparas de mesa	3	0.12	2.00	0.72	7.00	5.04
Calefacción	1	0.60	7.00	4.19	5.00	20.93
Aire acondicionado	3	0.02	1.50	0.09	5.00	0.44
TOTAL	23	3.93		20.85		120.50

Tabla 6. Consumos de energía eléctrica en electrodomésticos básicos en una vivienda.

Cargas	Iluminación (bombillas)	Potencia (KW)	Horas diarias	kWh/diarios	Días de la semana	KWh/semana
Recámara principal	2	0.02	3.00	0.12	7.00	0.84
Vestidor	1	0.02	1.00	0.02	7.00	0.14
Pasillo	1	0.02	0.50	0.01	7.00	0.07
Baño 1	1	0.02	1.00	0.02	7.00	0.14
Recámara 1	1	0.02	3.00	0.06	7.00	0.42
Recámara 2	1	0.02	3.00	0.06	7.00	0.42
Baño 2	1	0.02	1.00	0.02	7.00	0.14
Baño 3	1	0.02	1.00	0.02	7.00	0.14
Pasillo	2	0.02	0.50	0.02	7.00	0.14
Estudio	2	0.02	3.00	0.12	7.00	0.84
Sala	2	0.02	5.00	0.20	7.00	1.40
Comedor	2	0.02	5.00	0.20	7.00	1.40
Cocina	2	0.02	3.00	0.12	7.00	0.84
Despensa	1	0.02	0.50	0.01	7.00	0.07
Lavado y Planchado	1	0.02	3.00	0.06	3.00	0.18
Patio	1	0.03	1.00	0.03	7.00	0.18
Exteriores	5	0.03	1.50	0.19	7.00	1.31
TOTAL	27	0.35		1.27		8.67

Tabla 7. Consumos de energía eléctrica en iluminación básicos en una vivienda.

La aportación por concepto de iluminación es de 1.27 kWh/día, lo que nos da un total de 22.12 kWh/día para una vivienda unifamiliar con las características de carga antes expuestas.

Otro factor de consideración de nuestro interés son las características que presenta el clima de la región considerada, las cuales, impactan directamente en la demanda de energía eléctrica por parte de un usuario. Presenta un clima templado subhúmedo, la temperatura media anual es de 14.7 °C, las temperaturas más bajas se presentan en los meses de enero y febrero (alrededor de 3 °C). La temperatura máxima promedio en la región se presenta en abril y mayo con 25 °C.

Las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre.

Ahora, aplicando los criterios de tarifa en relación a la temporada en el año y el consumo realizado a lo largo de un día, tomé como referencia la siguiente propuesta gráfica para concluir más adelante con el impacto económico y la reducción de costes que se logrará implementando VPP, como se muestra en las siguientes figuras:

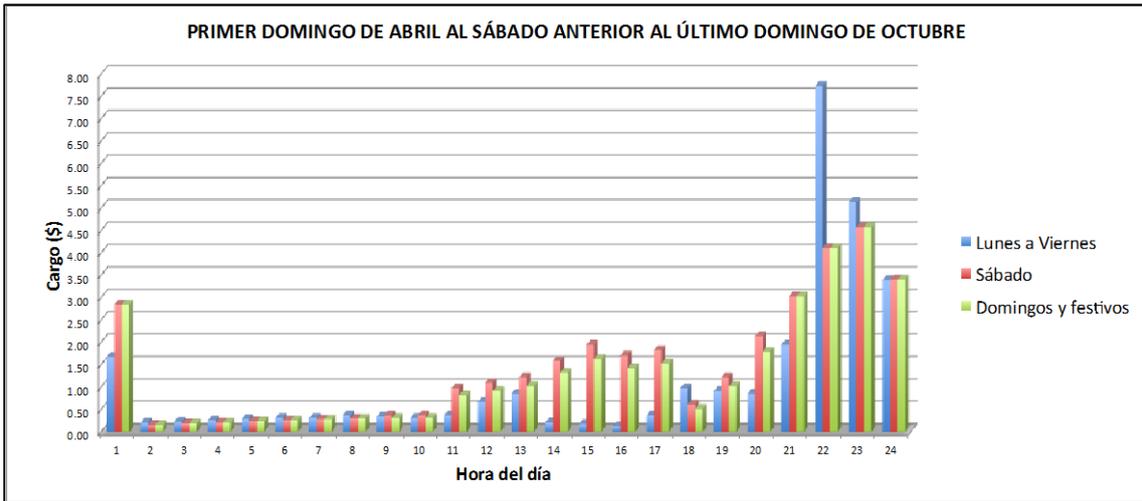


Figura 21. Gráfica de consumo de energía eléctrica durante un día periodo Abril-Octubre.

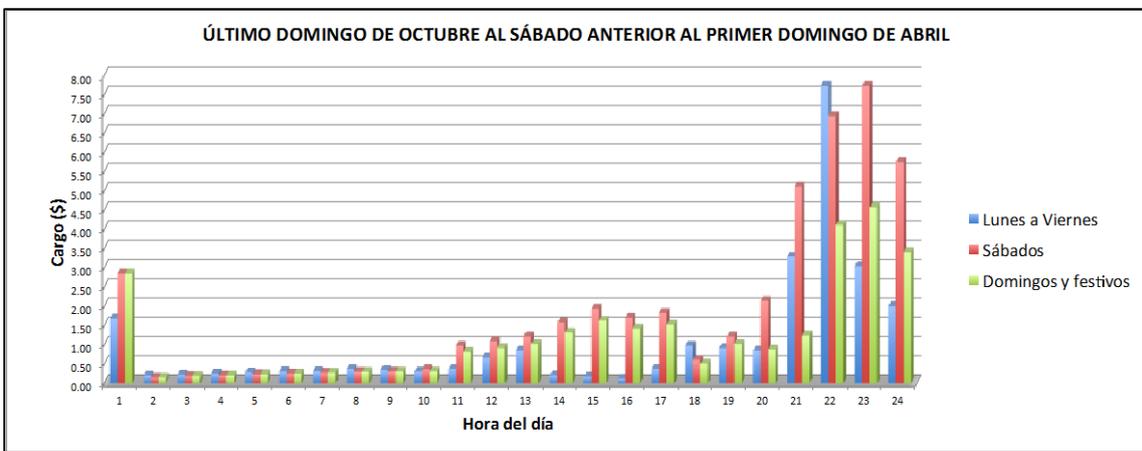


Figura 22. Gráfica de consumo de energía eléctrica durante un día periodo Octubre- Abril.

Suponiendo la potencia total más alta que tenemos de acuerdo a nuestras cargas, calculé la distribución de saltos para la demanda por vivienda durante un día, resultando de 22.12 kWh aproximadamente la cual queda de la siguiente manera:

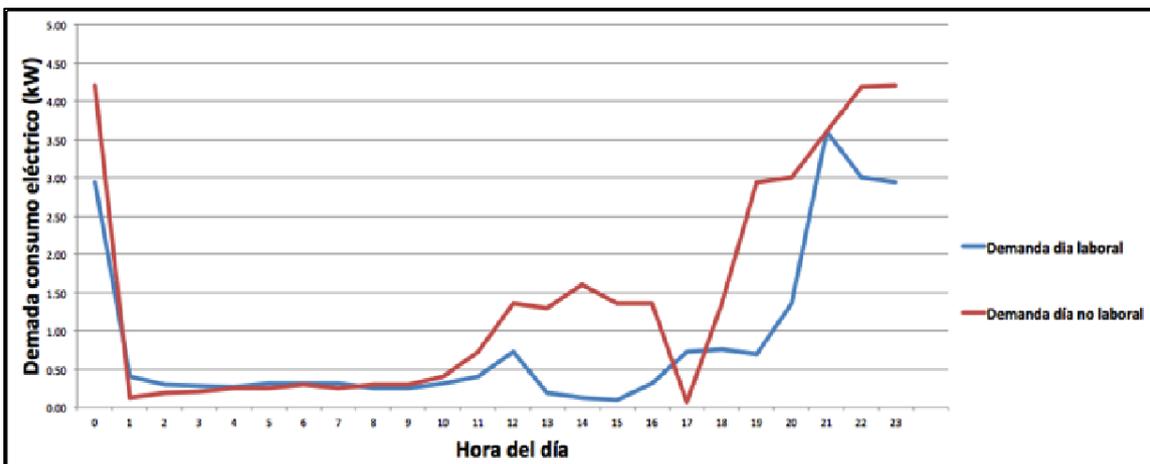


Figura 23. Gráfica de la distribución del consumo de energía eléctrica para una vivienda, durante un día.

la demanda generada por las 100 viviendas de la urbanización estimada durante un día, resultando 2.21 Mwh.

Una vivienda con un “sistema de alta eficiencia energética” puede requerir 9,400 kWh anual aproximadamente, cifra que puede verse disminuida dependiendo el tipo de calefacción.

El sistema de generación, puede generar 5,400 kWh/año de electricidad entre las células solares y las turbinas eólica.

Es importante considerar la energía generada por dichas células por lo que también hacemos una análisis y estimaciones de energía generada para conocer el excedente de energía.

6.3 Sistemas inteligentes

Las turbinas eólicas para uso residencial abarcan desde los 20 W hasta los 50 kW. Para la carga de las baterías de los vehículos eléctricos, podemos disponer de una turbina pequeña destinada únicamente para este fin.

La energía eólica no se puede almacenar de ninguna forma para ser utilizada en un momento posterior, por ello hay que realizar medidas de la velocidad del viento en el lugar del emplazamiento, ya que nos proporcionará una gráfica con la distribución de las velocidades y con ésta, conoceremos la potencia que generará el molino. En general será suficiente con una media anual de 4 m/s, pero si incrementamos la velocidad habrá mejores resultados.

Se logra la potencia nominal aproximadamente en 13 m/s y se detiene la producción de energía 25 m/s. En la siguiente figura se muestra el análisis de la velocidad del viento medida en nuestro sitio de interés, obteniendo una velocidad de 6 m/s en promedio.

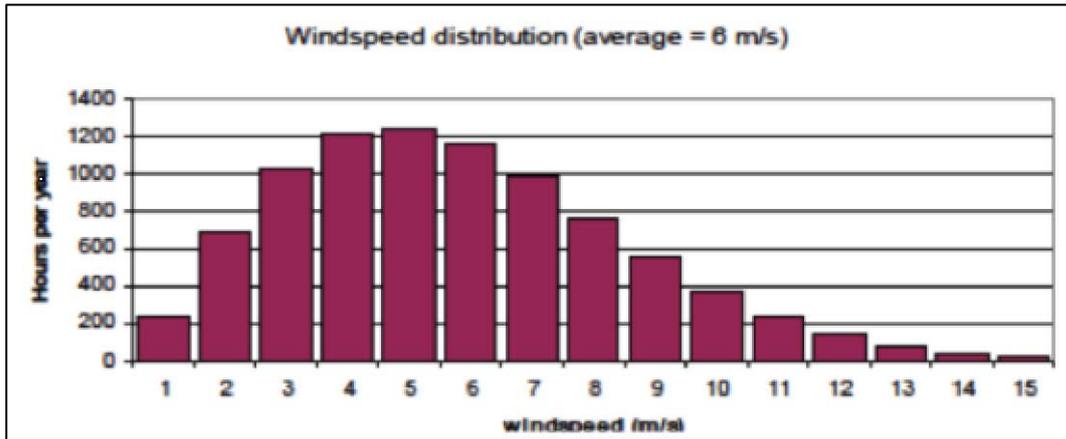


Figura 24. Distribución de la velocidad del viento.

La energía anual se puede calcular multiplicando la producción de la turbina eólica para cada velocidad del viento por el número total de horas al año en las que mantiene esa velocidad. Para un aerogenerador de potencia nominal 3kW, y velocidades del viento de 4, 6 8 y 10 m/s y velocidad para la potencia nominal de 13 m/s, tenemos:

Velocidad del viento	4 m/s	6 m/s	8 m/s	10 m/s
Energía anual	1.405 kWh	4.508 kWh	9.397 kWh	15.174 kWh

Tabla 8.. Consumo de energía anual para diferentes distribuciones de velocidades del viento.

El planteamiento es tener un sistema híbrido (solar y eólico), escogemos un aerogenerador de 3kW y con una velocidad del viento 6 m/s.

Existe una tecnología de la empresa Clarian, que ofrece una opción atractiva para instalar un equipo llamado "SmartBox" que permite tener paneles solares y turbinas de viento asequibles, fáciles de instalar y gestionar.

Esta smartbox se puede conectar a una toma de corriente existente ya que es una tecnología plug-in (enchufable o de inserción). Un sólo módulo es capaz de producir la energía renovable suficiente para compensar el consumo de una vivienda, siendo ampliable hasta la potencia que necesitamos (3 kW) y así alimentar los electrodomésticos, calefacción, aire acondicionado e iluminación.

Todo esto es posible gracias a que incorpora todo lo necesario: micro inversor, elementos de montaje, placa fotovoltaica y cableado. Lo realmente revolucionario es que este sistema portátil y se enchufa a cualquier toma corriente, como si se tratara de otro aparato electrodoméstico, sin la necesidad de un cuadro eléctrico dedicado. Además el sistema permite ser monitorizado mediante Wi-Fi y se pueden conectar por cada toma de corriente, una smartbox.

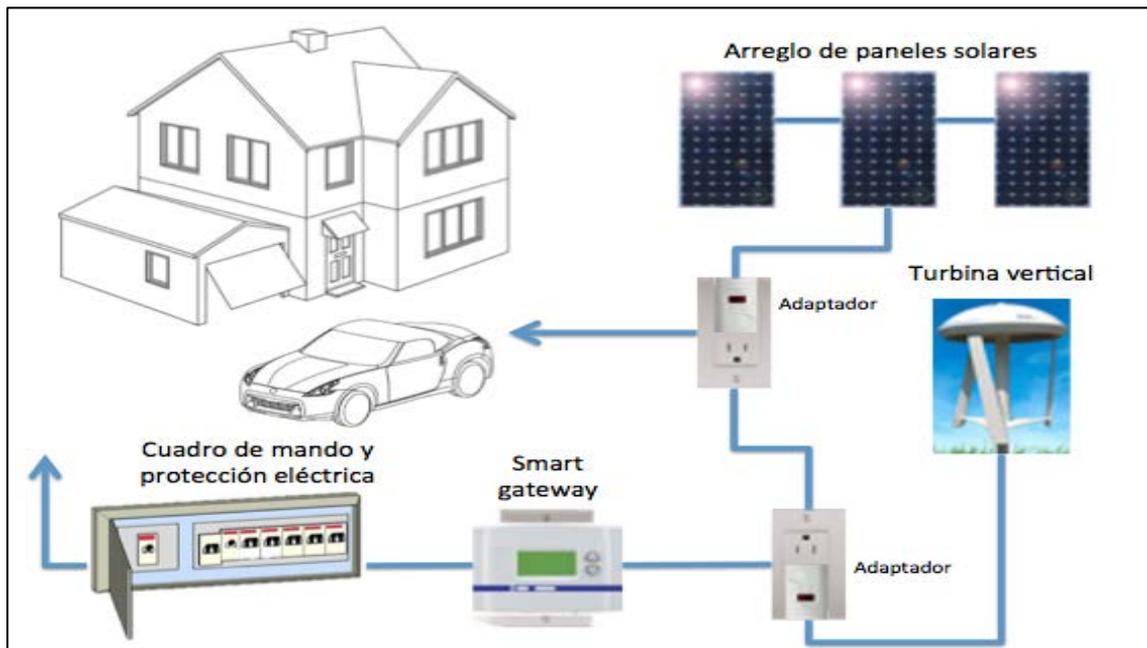


Figura 25. Distribución de la velocidad del viento.

6.4 Sistema de almacenamiento

La distancia que se recorrerá diariamente con vehículos eléctricos es aproximadamente 150 km, para abarcar las distancias más lejanas. En el caso de los vehículos eléctrico enchufables, se supone un escenario donde tenemos una estación de carga doméstica y otra estación de carga en común para todas las viviendas.

La ventaja de estos vehículos además de almacenar energía en sus baterías, es el tiempo de recarga en 30 minutos, , asegurando que se logra una carga al 50%. Por la noche los EV, descargan su batería para autoabastecimiento si esta es $\geq 30\%$ de su capacidad total; una vez terminado el proceso permanecerá en carga hasta alcanzar un nivel óptimo para consumo al siguiente día.

Distancia (km)	Carga de batería (kWh)
484.41	85
373.37	60
259.10	40

Tabla 9. Parámetros para carga de batería.

Fuente: Tesla Motors

Distancia a recorrer (km)	Tiempo de carga (min)	Energía utilizada (kWh)	Salida del cargador del vehículo	Configuración del cargador a bordo
48.280 (30 mi)	6:31	8.5	Standard (110V/12A)	Cargador simple 40A
104.61 (65 mi)	14:08	18.4	Standard (110V/12A)	Cargador simple 40A
160.93 (100 mi)	21:46	28.3	Standard (110V/12A)	Cargador simple 40A

Tabla 10. Rendimiento de los vehículos eléctricos enchufables

Por lo que respecta al desarrollo de modelos de baterías, parece que la carrera se está decantando por las baterías de Ion-Litio, tanto por sus características técnicas (SOC, capacidad de almacenamiento, densidad de energía, etc) como por sus perspectivas de fabricación.

6.5 Autogeneración de energía eléctrica

Se propone un sistema cooperativo integrado por paneles solares y micro generadores para autoabastecer a la urbanización. Se instalará un micro generador por cada manzana (10 casas) así como un micro generador de mayor capacidad para abastecer el consumo en áreas comunes como son la iluminación, zona de gimnasio, zona de piscina y el área de recarga para vehículos eléctricos.

La urbanización estará dividida en manzanas de 10 casas cada una, para lo cual se considera un microgenerador y 3 paneles solares de potencia para satisfacer la demanda eléctrica en las horas donde la tarifa eléctrica es mayor.

Durante el periodo con mayor consumo en las casas, se extrae la energía de las baterías y se inyecta a la red de la urbanización reduciendo así la cantidad de energía comprada a la CFE en un precio elevado, impactando en el gasto total. Como deseamos además de generar, autoabastecer, consideramos turbinas domésticas de 7.5 o 15 kW.

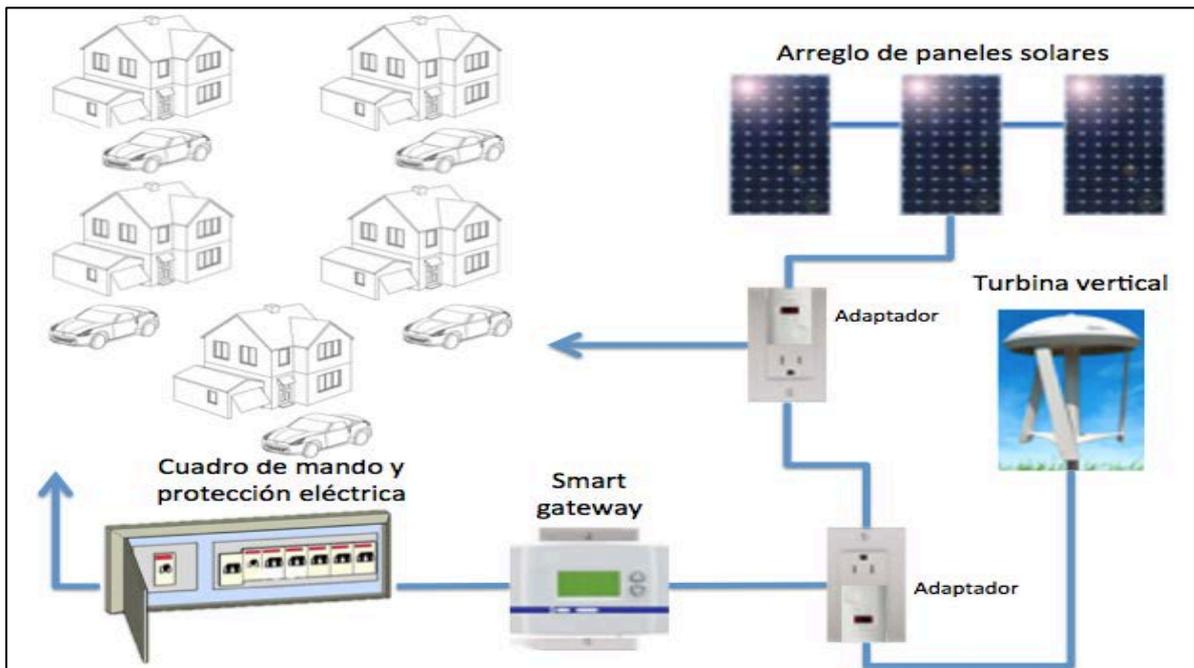


Figura 26. Distribución de la velocidad del viento.

6.6 Sistema de gestión y medición inteligente

Es un sistema integrado de gestión remota y automática de controladores y otros dispositivos adicionales, basada en nuevas tecnologías de información, electrónica y comunicaciones. Su objetivo es mejorar la eficiencia del sistema eléctrico y las calidad del servicio prestado a los clientes.

Las principales ventajas que se observan en estos sistemas, es la capacidad de lectura remota de los registros de energía y potencia así como de los parámetros de calidad.

También permite la discriminación horaria con capacidad de gestión para programar periodos de acuerdo a las necesidades , parametrización del equipo de medición (smart meters), cálculos de curvas horarias de energía activa y reactiva, control sobre la potencia demandada, entre otros.

La sincronización periódica remota con los concentradores proporciona al sistema la capacidad de gestión de cargas y tener un control remoto de los parámetros de medición así como de los equipos físicos.

Para este propósito necesitamos requerimientos mínimos para garantizar una gestión eficiente. Las consideraciones son:

- Contadores inteligentes bidireccionales
- Tarifas horarias (más opciones de compra)
- Portal del consumidor

Consumidores bien informados modificarán sus patrones de consumo balanceando sus demandas con las capacidades del sistemas eléctrico para satisfacerlas a través de mecanismos de premio-castigo en un modelo de mercado.

- Dispositivos de control de consumo
- Deslastre de cargas internas según prioridades y requerimientos provenientes de la red.
- Programas de respuesta a la demanda (DR)

A través de más opciones en la compra de energía que tiene como objetivo el desplazamiento o recorte de picos de consumo y ahorros energéticos.

¿Cómo evaluar opciones futuras de la red?

La red eléctrica es un sistema complejo que esta en producción y, por tanto, resulta complicado la toma de decisiones estratégicas para una transición de una red actual como la existente en el Valle de México.

Se puede llevar a cabo una simulación experimental, a modo de laboratorio virtual para analizar el comportamiento y evolución en diversos escenarios futuros a partir de la situación actual.

Existe un simulado llamado "SmartGrid" que es una herramienta basada en modelado y simulación basado en agentes (ABMS).

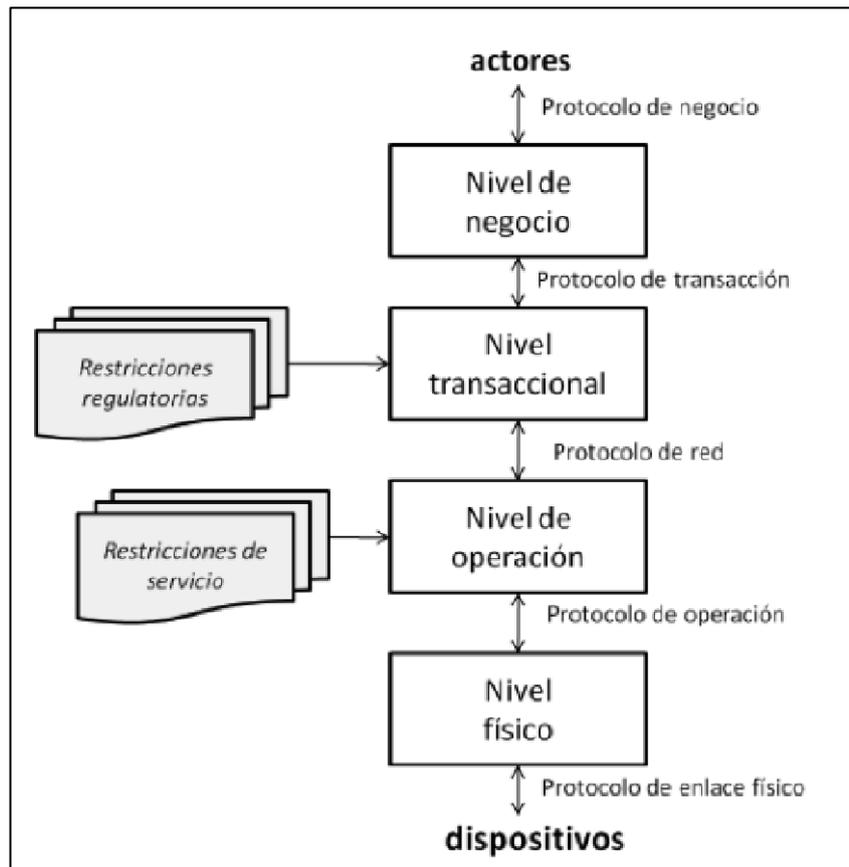


Figura 27. Arquitectura del núcleo del sistema.

Como herramienta de test se concebirá para facilitar la interoperabilidad con el nuevo sistema de control, permitiendo desarrollar y probar el sistemas de gestión directamente y en producción sobre la red; se realiza su desarrollo y evaluación contra el simulador.

En el caso de la División Valle de México Norte (CFE) hay un área de oportunidad para aprovechar la situación privilegiada en cuanto a inversión e infraestructura para realizar un estudio y análisis para su evolución desde la red actual a una futura.

De esta manera, se puede integrar con mayor eficacia y masivamente con nuevas tecnologías de producción renovables con un alto grado de penetración en la red, tecnologías de producción tradicional y de almacenamiento, así como la gestión de ciclos combinados.

6.6.1 Escenarios de Evaluación

Dada la naturaleza y situación de la red, es necesario considerar y evaluar los siguientes escenarios, entre otros:

- Integración de renovables: maximización de la penetración, modelos de mercado, ubicación, capacidad, comportamiento ante las variaciones de la producción en función de las condiciones climáticas, etc.
- Estudios y definición de estrategias de gestión de la demanda para aplanamiento de la curva de demanda: gestión del consumo y smart metering.
- Integración de opciones de almacenamiento.
- Estudio de los efectos y ventajas de la integración de micro redes (micro grids) sobre la gestión de la red y planificación de la sustitución de generación primaria y nuevas inversiones.
- Reconfiguración de la red eléctrica.
- Estudio de los efectos de integración de vehículos eléctricos y sus efectos sobre el aplanamiento de la curva de demanda y la estabilización de la frecuencia.
- Efectos de las mejoras en predicción sobre la integración de fuentes no gestionables.
- Estudios relativos a las políticas de promoción de plantas combinadas (plantas virtuales).
- Estudios relacionados con políticas de escalabilidad y elasticidad de la oferta

6.7 Sistema de control para la gestión eficiente de la Micro red

En este apartado, se desarrollará un sistema de gestión de los recursos de la micro-red local considerando tanto recursos distribuidos de generación, demanda y almacenamiento energético (Energy Storage Systems) basado en el concepto de VPP.

La VPP puede actuar como un gestor de flujos energético en una micro-red. Con el apoyo de ESS pretendemos mejorar:

- Soporte de estabilidad de red y calidad de señal en la micro-red.

Al contar con un sistema inteligente, se aprovecha de manera más eficiente la energía autogenerada utilizando, por ejemplo cuando la demanda de energía es mayor en la urbanización y por tal motivo es más cara, las de energías renovables de los vehículos eléctricos enchufables, micro generadores y paneles solares. Con esta medida, se estimula el intercambio de carga con la operadora eléctrica, es decir, cuando tengamos un déficit de energía en la urbanización será posible obtenerla de la red. En caso contrario, lo generado a partir de las energías renovables se puede “vender” a un precio competitivo o descontar sobre la facturación del servicio tradicional.

6.8 Comunicaciones y gestión del broker

El comercio electrónico que se llevará a cabo entre el operador de la red eléctrica y el sistema de gestión de la urbanización, está principalmente basado en un intercambio de información eficiente y preciso entre las diferentes entidades implicadas en la transacción (típicamente cliente y proveedor), usando la infraestructura de comunicaciones existente. Gracias a las facilidades de comunicación proporcionadas por Internet y a las redes intranet en general, requieren de un mecanismo que proporcione funcionalidad para el intercambio de información entre clientes y servidores, de una manera fluida y fácil. Lo anterior, con la intención de minimizar el tiempo que normalmente se emplea para la búsqueda y despliegue de información útil para el proceso.

El servicio de brokerage (implementado por un broker de información), en el contexto del comercio electrónico, constituye una herramienta que ayuda a potenciar la simetría de la intermediación, permitiendo que ambas partes se comuniquen de forma sencilla.

La propuesta es utilizar JAVA para gestión interna del sistema inteligente, CORBA como protocolo de comunicación con el exterior y SNMP como protocolo de conexión entre el centro gestor y los diferentes agentes.



Fuente: Mecanismos de comunicación y gestión de un servicio de un broker de información multiagente/UPM.

6.8.1 Gestión de la energía en el hogar basado en ZigBee

ZigBee es una tecnología inalámbrica desarrollada como un estándar global abierto para hacer frente a las necesidades únicas de las redes de bajo costo y bajo consumo de energía inalámbricos M2M. El estándar ZigBee opera en la especificación de radio 802.15.4 IEEE física y opera en bandas sin licencia, incluyendo 2.4 GHz, 900 MHz y 868 MHz. El protocolo ZigBee ha sido diseñado para proporcionar una de usar fácil solución inalámbrica de datos caracterizada por arquitecturas de redes inalámbricas seguras y fiables; permite la implementación de base amplia de las redes inalámbricas con las soluciones de bajo costo y bajo consumo de energía.

Es posible proporcionar la capacidad de funcionar durante años en las baterías de bajo costo para una serie de aplicaciones de monitoreo y control. El concepto de Smart energy/ smart grid, AMR (Automatic Meter Reading), controles de iluminación, construcción de sistemas de automatización, control del tanque, control de climatización, dispositivos médicos y aplicaciones de flota son sólo algunos de los muchos espacios donde la tecnología ZigBee está haciendo avances significativos.

7 Evaluación del impacto económico de la propuesta e inversiones realizadas

La actividad de generación eléctrica consiste, de forma simplificada, en transformar alguna clase de energía no eléctrica (nuclear, térmica, hidráulica, eólica, solar, etc.) en energía eléctrica. Cada una de estas tecnologías tiene diferentes estructuras de costes y características técnicas:

- Cada tecnología resulta especialmente adecuada técnica y económicamente para prestar un servicio concreto en relación con la cobertura de la demanda eléctrica.
- Todas las tecnologías son necesarias, ya que se complementan para suministrar de la forma más adecuada posible la energía que demandan los consumidores en cada momento.

A modo de ejemplo, hay centrales con unos costes fijos muy altos (amortización de la inversión, parte fija del coste de operación y mantenimiento, etc.) pero con unos

costes variables muy bajos. Estas centrales son las más adecuadas para producir de forma constante a lo largo del tiempo (un número de horas al año muy elevado). Por el contrario, hay centrales con unos costes fijos muy bajos pero con unos costes variables muy altos. Estas centrales son las más adecuadas para producir un reducido número de horas al año (aquellas en las que la demanda es más alta).

Asimismo, una característica propia de la electricidad es la imposibilidad de almacenar energía en grandes cantidades. Por ello, se debe producir en cada instante exactamente la energía que se demanda. Dada la volatilidad de la demanda en el corto plazo, son necesarias centrales que puedan incrementar / reducir su producción muy rápidamente para seguir a la demanda.

Por último, en los últimos tiempos es cada vez más necesario disponer de tecnologías que permitan satisfacer las restricciones medioambientales (generar electricidad sin contaminar) y que aporten seguridad de suministro al sistema, mitigando el riesgo de desabastecimiento de combustibles que provienen del exterior (como el gas natural - riesgo geopolítico) y el riesgo derivado de factores no controlables (por ejemplo, la hidraulicidad en el sistema).

8 Conclusiones

Así, resulta evidente que cada tecnología presta un servicio concreto en la cobertura de la demanda, que todas son necesarias y que se complementan unas con otras para suministrar la energía demandada en cada momento de la forma más adecuada posible.

Para el despliegue de este proyecto, se plantearon inversiones en equipo de comunicación y en equipo eléctrico que servirá para realizar las mediciones correspondientes de potencia y energía en el sistema.

En base a los cálculos realizados con los parámetros del escenario propuesto. Anexo a este trabajo se puede consultar la hoja de cálculo con el que fueron obtenidos los datos que a continuación se detallarán.

Se hizo un ejercicio de simulación con los recursos utilizados para estimar los costes de la inversión que se necesita para la implementación de la propuesta.

La demanda de la urbanización, es de 2,211.85 kWh/día, considerando consumos de electrodomésticos, iluminación y gastos en áreas comunes.

Las energías renovables generan una capacidad aproximada de 11,918.91 kWh/día. En base a esta cantidad, se realizan las estimaciones sobre el impacto económico y en qué rubros se verá el beneficio de la utilización de energía compatibles con el medio ambiente.

Concepto	Energía generada	Coste (USD)
Smartbox solar	9038.91 kWh/m2/día	\$799- \$899
Smartbox eólica	2880 kWh/día	\$699- \$799
Smart meter	-	\$1000
Vehículos eléctricos enchufables	85 kWh/día	\$62,400- \$87,400
Redes de Distribución	-	125 M\$
Costes totales estimados	-	338,000 – 476,000 M\$

Tabla 11. Costes en equipo eléctrico y de comunicaciones.

La inversión en equipo de comunicaciones, eléctrico e informático asciende a \$77,500 USD sin contar los gastos propios de las redes de distribución que son cantidades millonarias.

Para el costo de la energía, anteriormente mencioné que el precio está sujeto a la hora en la cual presenta mayor demanda.

Por ejemplo, hay 3 tipos de horas que se consideran como referencia para el cálculo de gasto en energía eléctrico:

- Horario de energía base es cuando la energía es relativamente barata.
- Horario de energía intermedio es cuando la energía presenta un comportamiento equilibrado respecto a los extremos (punta y base).
- Horario de energía punta ocurre cuando la energía es relativamente más cara.

Para nuestro análisis, he dividido por periodos para hacer una estimaciones cercana al consumo real. Como primer punto se dividió el consumo de Lunes a Viernes, Sábados, Domingo y días festivos..

De acuerdo a los precios y tarifas autorizadas para CFE, el precio (\$ USD) de la energía base es \$0.080, para la energía intermedia \$0.096 y la energía punta queda en \$0.156.

PRIMER DOMINGO DE ABRIL AL SÁBADO ANTERIOR AL ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE APLICA LA SIGUIENTE TARIFA								
LUNES A VIERNES	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)	SÁBADOS	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)	DOMINGOS Y FESTIVOS	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)
Tiempo (h)			Tiempo (h)			Tiempo (h)		
0	1.68	0.24	0	2.84	0.23	0	2.84	0.23
1	0.20	0.02	1	0.15	0.01	1	0.15	0.01
2	0.22	0.02	2	0.18	0.01	2	0.18	0.01
3	0.25	0.02	3	0.20	0.02	3	0.20	0.02
4	0.28	0.02	4	0.23	0.02	4	0.23	0.02
5	0.31	0.02	5	0.25	0.02	5	0.25	0.02
6	0.31	0.02	6	0.27	0.02	6	0.27	0.02
7	0.37	0.04	7	0.29	0.02	7	0.29	0.02
8	0.34	0.03	8	0.46	0.04	8	0.30	0.02
9	0.30	0.03	9	0.53	0.04	9	0.31	0.02
10	0.37	0.04	10	0.97	0.08	10	0.81	0.07
11	0.66	0.06	11	1.09	0.09	11	0.91	0.07
12	0.85	0.08	12	1.22	0.10	12	1.02	0.08
13	0.21	0.02	13	1.58	0.13	13	1.32	0.11
14	0.17	0.02	14	2.00	0.16	14	1.63	0.13
15	0.12	0.01	15	1.70	0.14	15	1.42	0.11
16	0.37	0.04	16	1.82	0.15	16	1.52	0.12
17	0.97	0.09	17	1.49	0.12	17	0.51	0.04
18	0.91	0.09	18	1.52	0.12	18	1.02	0.08
19	0.85	0.08	19	3.25	0.26	19	1.79	0.14
20	1.94	0.19	20	2.95	0.24	20	3.03	0.29
21	7.73	1.21	21	4.68	0.37	21	4.11	0.39
22	5.14	0.80	22	5.84	0.47	22	4.57	0.44
23	3.39	0.53	23	4.31	0.34	23	3.40	0.33
PRECIO \$(USD)	27.96	3.71		39.85	3.19		32.10	2.81
Hora de energía base	Hora de energía intermedia		Hora de energía punta					

Tabla 12. Tarifa aplicada y demanda correspondiente al periodo Abril- Octubre. El detalle aparece por hora.

ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE AL SÁBADO ANTERIOR AL PRIMER DOMINGO DE ABRIL. APLICA LA SIGUIENTE TARIFA								
LUNES A VIERNES	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)	SÁBADOS	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)	DOMINGOS Y FESTIVOS	Demanda día (kW)	PRECIO \$(USD)
Tiempo (h)			Tiempo (h)			Tiempo (h)		
0	1.68	0.13	0	2.84	0.23	0	2.84	0.23
1	0.20	0.02	1	0.15	0.01	1	0.15	0.01
2	0.22	0.02	2	0.18	0.01	2	0.18	0.01
3	0.25	0.02	3	0.20	0.02	3	0.20	0.02
4	0.28	0.02	4	0.23	0.02	4	0.23	0.02
5	0.31	0.02	5	0.25	0.02	5	0.25	0.02
6	0.31	0.02	6	0.27	0.02	6	0.27	0.02
7	0.37	0.04	7	0.29	0.02	7	0.29	0.02
8	0.34	0.03	8	0.30	0.02	8	0.30	0.02
9	0.30	0.03	9	0.37	0.04	9	0.31	0.02
10	0.37	0.04	10	0.97	0.09	10	0.81	0.07
11	0.66	0.06	11	1.09	0.10	11	0.91	0.07
12	0.85	0.08	12	1.22	0.12	12	1.02	0.08
13	0.21	0.02	13	1.58	0.15	13	1.32	0.11
14	0.17	0.02	14	1.94	0.19	14	1.63	0.13
15	0.12	0.01	15	1.70	0.16	15	1.42	0.11
16	0.37	0.04	16	1.82	0.17	16	1.52	0.12
17	0.97	0.09	17	0.61	0.06	17	0.51	0.04
18	0.91	0.09	18	1.22	0.12	18	1.02	0.08
19	0.85	0.08	19	2.14	0.21	19	0.88	0.14
20	3.29	0.51	20	5.12	0.80	20	1.25	0.19
21	7.73	1.21	21	6.94	1.08	21	4.11	0.64
22	3.04	0.29	22	7.73	1.21	22	4.57	0.71
23	2.00	0.19	23	5.75	0.90	23	3.40	0.33
PRECIO \$(USD)	25.81	3.09		44.94	5.77		29.41	3.43
Hora de energía base	Hora de energía intermedia		Hora de energía punta					

Tabla 13. Tarifa aplicada y demanda correspondiente al periodo Octubre-Abril. El detalle aparece por hora.

En las figuras anteriores, corresponde al análisis y estimaciones de los precios de la energía eléctrica dependiendo de la hora y la demanda. El precio general para la facturación en media y baja tensión, que entra en el ámbito de Distribución es de \$0.106 USD.

	DIARIO	MENSUAL	ANUAL	
PRIMER DOMINGO DE ABRIL AL SÁBADO ANTERIOR AL ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE				
Lunes-Viernes	371.50	11144.98	133739.74	
Sábados	318.83	9564.78	114777.32	
Domingos y festivos	280.99	8429.62	101155.47	
	971.31	29139.38	349672.52	379783.21
ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE AL SÁBADO ANTERIOR AL PRIMER DOMINGO DE ABRIL				
Lunes-Viernes	308.63	9258.91	111107.31	
Sábados	577.07	17312.00	207744.01	
Domingos y festivos	343.28	10298.28	123579.36	
TOTALES	1228.97	36869.22	442430.68	480528.87
	PROMEDIO	33004.30	396051.60	

Tabla 14. Gasto en energía eléctrica, aproximada, por la urbanización (\$ USD).

De la tabla anterior, se observa que en promedio tenemos mensualmente una facturación de \$ 33,004.30 USD para ambos periodos, es decir, otoño e invierno. Mientras que para la facturación anual tenemos \$ 396,051.60, utilizando la red tradicional de energía eléctrica.

El impacto económico y ambiental de este proyecto es fundamental para el éxito del mismo, por lo que buscamos las energías renovables adecuadas para las condiciones geográficas y climatológicas de nuestra División y en particular de la zona donde se propuso la construcción de la urbanización.

GENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA			GENERACIÓN MENSUAL \$ (USD)	GENERACIÓN ANUAL \$ (USD)
Solar	kWh/m ² día	90.39		
	100 casas	9038.91	28743.73	344924.81
Eólica	kWh/día	144		
	1 aero/5casas	2880	9158.4	109900.80
Urbanización	Demanda (kWh/día)	2211.85	7033.68	84404.20
Vehículos eléctricos enchufables	kWh	6300	20134	241608
		TOTALES	57936.13	695233.61
		RED TRADICIONAL (facturación)	33004.3	396051.6
		RED INTELIGENTE (generación)	57936.13	695233.61
		AHORRO	24931.83	299182.01

Tabla 15. Balance de costes de generación con respecto a la facturación tradicional.

Finalmente, concluyo que la necesidad económica para realizar la implementación de un sistema inteligente capaz de operar sobre la red eléctrica actual, que nos permita una flexibilidad en el mercado para la compra-venta de la energía requerida es necesaria para una integración eficiente de las redes de comunicaciones y las redes eléctricas.

Utilizando la red convencional, la facturación se ha estimado en \$396,051.60 USD para toda la urbanización que en comparativa con lo que se genera a través de la energía eólica, solar y el almacenamiento logrado con los vehículos eléctricos enchufables, es de \$695,233.61.

El ahorro por concepto de operación, mantenimiento y despliegue queda en \$299,182.01, cantidad es posible negociar con el operador de la red eléctrica la forma de cobro y el precio en el que nuestra urbanización puede vender su excedente energético.

El empleo de sistemas de generación distribuida presentan numerosos beneficios como hemos visto a lo largo del trabajo, principalmente caemos en dos clasificaciones que permiten percibir con claridad las razones por las cuales es una necesidad real la utilización de energías renovables y compatibles con el medio ambiente.

En términos técnicos, un sistema basado en la descentralización de una planta de energía eléctrica nos permitirá reducir las pérdidas de energía eléctrica tanto en las redes de Distribución como de transporte. Con una adecuada ubicación de los sistemas de generación distribuida también logrará reducir el flujo de potencia que conlleva a la disminución de pérdidas en las líneas de transporte, mejorando notablemente el perfil de las tensiones.

La reducción en las pérdidas de energía aumenta notablemente la capacidad de distribución de la red eléctrica, ubicando convenientemente los puntos donde la red autogenerada por particulares será inyectada a la red convencional.

Para la oferta-demanda, nuestro sistema ayuda a gestionar la demanda en horas punta y en los programas de gestión de consumo. Igualmente, el sistema puede intervenir en la fiabilidad y continuidad de la interoperabilidad de los puntos de generación y no solamente una gran generación centralizada como se realiza actualmente. Otro factor fundamental de los sistemas distribuidos para la estabilidad en el sistema es que la generación de particulares provenientes de las energías renovables permite tener un suministro a manera de "reserva" para cuando sea necesario inyectar energía a la red.

La flexibilidad dentro del sistema eléctrico de Distribución se logra debido a que podemos variar el tamaño y la localización de dicho sistema. Los módulos de los sistemas distribuidos permiten una instalación sencilla y su implementación se lleva a cabo en periodos cortos de tiempo. Además, para fines de mantenimiento, operación y funcionamiento del sistema, así como, la flexibilidad para aumentar y disminuir el número de módulos, se traduce en sus principales ventajas frente a la red convencional.

En términos económicos, la reducción de las inversiones en infraestructura eléctrica es evidente dado que nuestro sistema puede suministrar los aumentos de carga local necesaria instalándolas en puntos determinados, por lo que se puede evitar o reducir la construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, mejorar los sistemas eléctricos existentes y la etapa de planificación.

La disminución de los costes de operación, mantenimiento y puesta en servicio, aumenta el tiempo de vida de los transformadores, equipo de seccionamiento y líneas de transporte y distribución.

Gracias a las diferentes tecnologías que hay para implementar los sistemas distribuidos, se puede acoplar gradualmente al sistema convencional y suministrar la demanda exacta que el cliente necesita.

Con respecto al impacto ambiental, con las energía renovables se logrará una reducción en las emisiones de contaminantes a la atmósfera. No obstante, cualquier sistema de generación distribuida puede influir de alguna manera en la emisión de contaminantes, porque aún así hay pérdidas energéticas que contaminan. Cada vez es más común que los desarrollos tecnológicos impliquen consideraciones especiales al momento de escoger materiales, equipo y tecnologías adecuadas para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera por lo que la etapa de planificación y análisis de este proyecto, debe incluir un estudio a detalle de las opciones más viables.

Con las conclusiones que obtuvimos, también es preciso mencionar la importancia de la planificación, diseño, ubicación y la conexión a la red de sistemas GD.

En caso de realizar un estudio deficiente o inadecuado, podemos provocar problemas tales como el aumento de las pérdidas en el sistema, mayores costes en la explotación de la red para la empresa distribuidora (en este caso, CFE), aparición de huecos de tensión, sobretensiones y todos los efectos contrarios negativos que afecten el comportamiento inicial previsto en los flujos de potencia.

Para evitar estos problemas, es recomendable realizar un estudio, planificación y evaluaciones técnicas-económicas del sistema de generación distribuida que se requiere para tener una gestión adecuada.

Esto aumentará el porcentaje de penetración en la potencia de la red, la tecnología y topologías a emplear, así como determinar el tamaño y ubicación dimensionando otros aspectos no eléctricos como la distancia y gastos de transporte de la energía generada por los paneles solares y turbinas, los accesos y comunicaciones, entre otros aspectos.

De los problemas que se pueden presentar, se mencionan también los que son de carácter político ya que aún no se encuentra bien constituida la legislación con respecto

a las energías renovables porque requiere de un acuerdo general entre particulares y gobierno para que este tipo de proyectos tengan éxito.

9 Trabajos futuros

En este ámbito que ha presentado numerosas ventajas y razones para su implementación, es necesario innovar en las distintas tecnologías para alcanzar los objetivos energéticos nacionales y mundiales.

De los puntos a considerar donde se deben realizar más estudios a profundidad, es acerca del desarrollo de nuevas herramientas que nos permitan gestionar incertidumbres y ubicar corredores energéticos. Durante la planificación es necesario contar con modelos adecuados que contengan tarifas y mecanismos generales que permitan la flexibilidad del mercado energético y lograr un equilibrio oferta-demanda.

También observo grandes retos en la etapa de monitorización y control de las energías renovables a través de protocolos y plataformas de comunicaciones que permitan homogeneizar la red convencional con los puntos conectados.

Es importante diseñar a la par del proyecto técnico, un modelo económico que nos permita proveer servicios de energía con tarifas razonables para motivar a los usuarios finales para invertir en estas tecnologías. Actualmente hay mucha desinformación que entorpece más la implementación general de sistemas sustentables.

De los grandes retos para los operadores de los sistemas de generación distribuida, están los que implica transformar las redes de distribución a redes activas con significativas inyecciones de potencia y cambiar los flujos tradicionales de energía.

En los sistemas SCADA (Supervisory Controls and Data Acquisition) también es necesario un redimensionamiento. Con esto se puede lograr la integración de nuevas tecnologías en la red para una disminución en la dificultad del control y supervisión de la generación de energía.

Finalmente, el gran reto será la previsión de la demanda eléctrica en función de los precios del mercado, que actualmente fluctúan demasiado ya que depende en gran medida de la producción de combustibles fósiles.

Bibliografía

[1] Dong Dong, Igor Cvetkovic, Dushan Boroyevich, Wei Zhang, Ruxi Wang, Paolo Mattavelli, "Grid-Interface Bidirectional Converter for Residential DC Distribution Systems- Part One: High-Density Two-Stage Topology", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28. 4 Abril 2013.

[2] V. Cagri Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergut, Concettina Buccella, Carlo Cecati, Gerhard P. Hancke, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.9. Febrero 2013.

[3] Ellas Bou-Harb, Claude Fachkha, Makan Pourzandi, Mourad Debbabi, and Chadi Assi, Concordia University. IEEE Communications Magazine, Enero 2013.

[4] Ximena F. Martínez, Juan I. Navarrete Barbosa, Gulliermo S. Liévano, José Alfredo O. Montesinos, Fabiola R. Bolaños, Erika Y. Jaime Buenrostro, " Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026", Secretaría de Energía, México D.F. 2012.

[5] Enrique V. Nieto, " Tarifas de Electricidad", Comisión Federal de Electricidad, México D.F. 2012.

[6] Ignacio Delgado Espinós, "Sistemas de Control para la gestión eficiente de Microrredes", Instituto Tecnológico de Energía, Madrid. 17 de Abril 2012.

[8] Sherry Carr, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 2. Agosto 2011.

[9] Tomás Gómez, " Redes Eléctricas Inteligentes", Universidad Pontificia Comillas de Madrid 21 de Junio 2011.

[8] Félix J. Barrio, "Perspectivas de las Redes Inteligentes en Europa", CIEMAT, Relaciones Internacionales y de Cooperación. Asunción, Mayo 2010.

[10] D. Lindley, "The energy storage problem," Nature, vol. 463, Jan. 2010. (3.6.2)

[11] Francisco Valera, José I. Moreno, Víctor A. Villagra, Julio Berrocal, "Mecanismos de comunicación y gestión de servicio de un broker de información multiagente", Universidad Carlos III de Madrid y Universidad Politécnica de Madrid.

[11] Firmus Consulting, "Estudio sobre tarifas eléctricas en México. Hacia una estructura tarifaria eficiente que apoye la competitividad de la economía", Instituto Mexicano para la Comopetitividad A.C. Febrero 2006.

[12] C. Tarazona, M. Muscholl, R. López and JC. Pesselergue, “Intregation of Distributed Energy Resources in the Operation of Energy Management Systes” Member, IEEE.

[13] www.cfe.gob.mx

[14] www.cre.gob.mx

[15] www.sener.gob.mx

[16] www.endesaonline.com

[17] www.teslamotors.com

[18] www.clarianpower.com