

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**TÍTULO: "Estudio preliminar de las redes eléctricas inteligentes para su
instalación en el Cayo Santa María."**

AUTOR: ALFREDO ALVAREZ DOIMEADIOS

TUTORA: MSc. GRETCHEN VILLAR VÁZQUEZ

Santa Clara

2016

Año 58 de la Revolución

PENSAMIENTO

“A lo largo de espacio hay energía. ... es una mera cuestión de tiempo hasta que los hombres tengan éxito en sus mecanismos vinculados al aprovechamiento de esa energía”.

Nikola Tesla.

DEDICATORIA

A mis padres, por su esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mi tutora por su paciencia y dedicación.

A Laura y su familia por la ayuda y el sostén que me han brindado.

A mis amigos por su compañía a lo largo de estos años.

A todos los que han colaborado conmigo.

RESUMEN

En la actualidad, 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 muchos países presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan las energías renovables, cuyo desarrollo permitirá contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales. El objetivo de esta tesis es determinar los referentes teóricos de las redes eléctricas inteligentes para su instalación en el caso Santa María, para satisfacer con calidad, fiabilidad y estabilidad, las necesidades de energía eléctrica. Se debe impulsar una transición desde un modelo centralizado y relativamente poco monitorizado, como el actual, hacia otro más descentralizado, con mayor grado de automatización y con gran información sobre los consumidores, se refiere a las redes eléctricas inteligentes o *smart grid*. Esta investigación también permite identificar como precursores de la transición de las redes convencionales hacia las redes eléctricas inteligentes: la instalación de contadores inteligentes, la integración de energías renovables y la generación distribuida en las redes de distribución junto con la participación activa de la demanda y la mejora de la calidad del servicio de suministro eléctrico.

ÍNDICE

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN:	1
CAPÍTULO 1: Situación actual de las redes convencionales.	8
Introducción	8
1.1 Problemática del sistema eléctrico actual	8
1.2 Características de la generación distribuida.	11
1.2.1 Aplicación de la generación distribuida en Cuba	13
1.2.2 Datos generales de los grupos electrógenos instalados.....	14
1.3 Uso de energías renovables en Cuba.....	17
1.3.1 Energía hidráulica.....	17
1.3.2 Energía eólica.....	18
1.3.3 Energía Fotovoltaica	20
1.4 Sistema Eléctrico de Villa Clara	22
Conclusiones parciales.	24
CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos de las redes eléctricas inteligentes	26
Introducción.	26
2.1 Definición de redes eléctricas inteligentes (REI).....	26
2.2 Características y ventajas de las redes eléctricas inteligentes.	30
2.3 Funcionamiento de las REI	32
2.4 Principales fabricantes e iniciativas por países.	38

Conclusiones parciales.	42
CAPÍTULO 3: Principales aspectos y tecnologías a considerar en las redes eléctricas inteligentes.	43
Introducción.	43
3.1 Contadores inteligentes.	43
3.1.1 Definición y componentes.....	44
3.1.2 Tipos de contadores inteligentes	45
3.1.3 Beneficios de los contadores inteligentes	47
3.2 Edificios inteligentes.....	48
3.3 Integración del vehículo eléctrico.	50
3.3.1 Vehículos híbridos eléctricos (HEV).....	51
3.3.2 Vehículos híbridos enchufables (PHEV).....	52
3.3.3 Infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.	52
Conclusiones parciales.	53
CONCLUSIONES GENERALES.....	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	58

INTRODUCCIÓN:

La electricidad, imprescindible hoy en nuestras vidas, ha recorrido un largo camino desde el principio de los tiempos, siendo muchos los hombres que con su reflexión y duro trabajo la han ido moldeando y adaptando a cada una de las necesidades de nuestra vida.

Hace poco más de cien años no existía el concepto de servicio eléctrico ni existían tampoco en parte alguna del mundo las grandes obras para producir, transportar y distribuir electricidad; ni los aparatos electrodomésticos, los equipos industriales, o los sistemas de telecomunicación para utilizar electricidad, por supuesto, tampoco existían las empresas eléctricas.

La electricidad es la forma de energía más versátil y controlable y la que permite una distribución más simple y eficiente. Así, la cadena de la energía eléctrica, desde la generación hasta su consumo final, es un sistema vital que presenta oportunidades de lograr la eficiencia en todos sus aspectos. Pero la energía eléctrica que se utiliza está sujeta a distintos procesos de generación, transformación, transmisión y distribución, ya que no es lo mismo generar electricidad mediante combustibles fósiles que con energía solar o nuclear. Tampoco es lo mismo transmitir la electricidad generada por pequeños sistemas eólicos y/o fotovoltaicos que la producida en las grandes hidroeléctricas, que debe ser llevada a cientos de kilómetros de distancia y a muy altos voltajes.

Las grandes empresas eléctricas han cumplido un papel importante en el desarrollo de la humanidad; han sido pilar de la infraestructura industrial y vector en el proceso de desarrollo social y económico de las naciones, facilitando la introducción de servicios esenciales como la salud, la educación, la comunicación y el entretenimiento, mediante la construcción de miles y miles de kilómetros de líneas de transmisión y distribución. [1]

La sociedad parece empezar a mostrar preferencias por opciones más benignas con el medio ambiente, sin dejar de reconocer el valor de la electricidad como elemento para mejorar la calidad de vida y sostener el desarrollo económico.

Se plantean dos caminos complementarios que marcan un nuevo rumbo en los esquemas de abastecimiento eléctrico: el primero, relativo al ahorro y uso eficiente

de la electricidad; el segundo, relacionado con la pequeña generación eléctrica con fuentes locales de energía.

A fin de que el esquema distribuido logre establecerse, la estructura tradicional del sector eléctrico debe evolucionar de tal forma que puedan coexistir los sistemas de generación centralizados con los dispersos.

El siglo XXI se está convirtiendo en la llamada era de la eficiencia. Los sectores eléctricos, que nacieron a principios del siglo XX, y que se han convertido en una máquina muy compleja, están experimentando cambios profundos por múltiples factores: la seguridad en el suministro, los cambios regulatorios, las nuevas tecnologías, la búsqueda de una menor dependencia energética exterior, la aparición de la generación distribuida, la participación de la demanda y las redes activas.

Todo ello conforma un conjunto donde debe haber una armonía perfecta entre las reglas del juego (esquemas regulatorios), los agentes participantes (consumidores, comercializadores, distribuidores, transportistas, generadores), los mercados y los servicios complementarios. Bajo este esquema la creciente presencia de los recursos energéticos distribuidos conlleva cambios profundos en la manera de concebir los sistemas eléctricos.

El futuro de la generación de energía pasa por un mix energético que combine la generación centralizada con una mayor participación de la generación distribuida. Un modelo energético donde cada vez más se acerque las fuentes de generación a los sitios de consumo, ya sea en modo de autoconsumo para uso residencial, servicios e industria, como en pequeñas y medianas plantas de generación distribuidas conectadas a redes de distribución, con el objetivo de reducir los costes de transmisión y las pérdidas por transporte y al mismo tiempo incrementar la robustez del sistema.

No se entiende otra forma de generación que aquella que sea respetuosa con el medio ambiente y el cambio climático, con especial énfasis en la energía solar, eólica y la biomasa por su madurez tecnológica y precios cada vez más competitivos.[2]

Ante la nueva perspectiva energética mundial, donde la generación distribuida basada en fuentes renovables está adquiriendo un papel muy relevante, surge un nuevo modelo de red eléctrica basado en tres pilares: generación distribuida, autonomía en su control y tecnologías de la información para transmitir y manejar todos los datos.

Desde hace unos años existe una situación, la energía producida y no consumida se pierde, esto a todos decía que algo andaba mal, pero no se sabía cómo resolverlo, porque el dejar de consumir no es ahorro. La evolución de las nuevas tecnologías ha llegado a una solución y son las Redes Eléctricas Inteligentes (REI), *Smart Grids*, o internet de la energía.

Es una red que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez, con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible.

Las redes eléctricas del futuro serán distintas a las actuales, al ofrecer una serie de funcionalidades nuevas. En este sentido, asumiendo que su implantación tendrá lugar a largo plazo, es previsible que a medio plazo coexistan dos generaciones de redes eléctricas: las convencionales o actuales y las redes inteligentes o avanzadas por otro. El grado de avance de las implantaciones dependerá tanto de los aspectos tecnológicos, como del impulso político y de la normativa que incentive su desarrollo.

La posibilidad de combinar la tecnología eléctrica convencional con las tecnologías de la información y las comunicaciones –las ya famosas TICs–, así como con los modernos sistemas de control miniaturizados, hace posible expandir e incrementar la ‘inteligencia’ de los sistemas eléctricos que se conocen actualmente. Los nuevos sistemas eléctricos ofrecerán nuevos servicios, tanto para los hogares como para las empresas, lo que permitirá usar la energía de una forma más eficiente y segura. Es el momento de un nuevo escenario eléctrico, formado por redes eléctricas inteligentes o Smart Grids.[3]

Las redes inteligentes ayudan a satisfacer las crecientes necesidades de electricidad. La demanda de electricidad se está disparando, en los próximos 20

años se necesitará incrementar la capacidad casi un gigavatio por semana sólo para satisfacer la demanda global.

Las redes eléctricas inteligentes constituirán el armazón del futuro sistema energético sostenible, permitiendo la integración de grandes cantidades de energía renovable producida en tierra y en mar y de vehículos eléctricos, manteniendo al mismo tiempo la capacidad de producción de energía convencional y la adecuación del sistema energético, mejorando la fiabilidad y calidad de suministro, así como, garantizando la seguridad del mismo.

Esta reforma reducirá la factura de la luz, recortará el consumo y dará a los usuarios más información sobre el tipo de energía que usan, e incluso permitirá a los consumidores producir su propia energía y venderla a las compañías distribuidoras. Muchas tecnologías auxiliares se beneficiarán de este gran impulso tecnológico. Entre otras compañías mencionamos las desarrolladoras de software y hardware. El interés del sector tecnológico por este plan está en que existen grandes similitudes entre la actualización de la red de energía y la revolución de las comunicaciones e internet.

Actualmente más del 40% de la energía eléctrica generada en el mundo proviene del carbón, que supone el 72% de las emisiones de CO₂ causadas por la generación eléctrica. Las redes eléctricas inteligentes permiten la integración de las fuentes renovables de energía en la red, para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. [4]

Hoy en día, los consumidores no pueden regular y programar sus consumos en función del precio de la electricidad, al menos no de una manera dinámica. No obstante, si fuese posible gestionar el suministro energético en un hogar o una empresa de forma individualizada, con un intercambio de información en tiempo real entre el lado de la generación y el del consumo, sería posible racionalizar el uso de la energía eléctrica, la cual, actualmente, no se aprovecha de manera óptima en la mayoría de los casos debido a la carencia de automatización y control en la totalidad de su cadena de valor.

Muchas de las redes de distribución en Latinoamérica y el Caribe están alcanzando su vida útil, y será necesario reemplazarlas. Existen aún millones de

personas en nuestra región sin acceso a electricidad, y la extensión de la red eléctrica será, en algunos casos, la manera de proveer este acceso. Dado que estas inversiones se tienen que hacer en los próximos años, inevitablemente, existe la posibilidad de dar un paso más allá, e instalar redes inteligentes.

En Cuba específicamente, los llamados de atención hacia la consideración de la tecnología de redes eléctricas inteligentes se han hecho desde el ámbito académico.

La UEB Cayo Santa María es un sistema atípico no conectado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), que aporta energía a las instalaciones del polo turístico villaclareño. Con equipos que tienen diferentes tecnologías —MTU, Hyundai y MAN—, y que en el futuro deben instalarse nuevas unidades generadoras además de parques solares fotovoltaicos.

Por tanto existen situaciones de conflicto entre el estado ideal y el real acerca de la utilización eficiente de la energía generada y la estabilidad del sistema, específicamente en el cayo Santa María donde se proyecta iniciar la instalación de redes inteligentes, lo que refleja necesidades investigativas. Ellas conducen al

Problema Científico:

¿Cómo contribuir al estudio preliminar de redes eléctricas inteligentes para su posterior instalación en el Cayo Santa María?

El problema científico condiciona el **Objeto:** redes eléctricas inteligentes.

El **Campo de Acción:** teoría de redes eléctricas inteligentes

En correspondencia con el problema y el objeto de estudio se determinó como **Objetivo de la tesis:** Determinar los referentes teóricos de las redes eléctricas inteligentes para su instalación en el cayo Santa María.

Para el logro del objetivo de este trabajo se trazaron los siguientes **objetivos específicos.**

1. Definir la situación actual de las redes eléctricas en el país y en el cayo Santa María.
2. Diagnosticar las potencialidades del uso de redes eléctricas inteligentes en los sistemas eléctricos.

3. Determinar los fundamentos teóricos que sustentan la instalación de redes eléctricas inteligentes.
4. Identificar las tecnologías que se articulan con las redes eléctricas inteligentes.

Para dar cumplimiento a estos objetivos específicos las **interrogantes científicas** son:

Preguntas científicas:

1. ¿Cuál es la situación actual de las redes eléctricas en el país y en el cayo Santa María?
2. ¿Cuál es el diagnóstico de las necesidades y potencialidades del uso de redes eléctricas inteligentes en los sistemas eléctricos?
3. ¿Qué fundamentos teóricos sustentan la instalación de redes eléctricas inteligentes?
4. ¿Cuáles son las tecnologías que se articulan con las redes eléctricas inteligentes?

Metodología utilizada:

Del nivel teórico:

Historio-lógico: Se utilizó en el estudio de los antecedentes teóricos, en la determinación de los fundamentos teóricos sobre las redes inteligentes eléctricas, facilitó las conclusiones y la realización del informe de investigación.

Analítico sintético el que se utilizó durante el desarrollo del estudio realizado y toda la trayectoria de la investigación.

Del nivel empírico:

Análisis de documentos: Se aplicó esencialmente en la revisión la bibliografía sobre los nuevos esquemas en la generación de electricidad y todo lo relacionado con las redes eléctricas inteligentes.

Consultar a los especialistas fue una práctica utilizada con el objetivo de obtener datos confiables sobre la situación actual de las redes convencionales.

Como aporte teórico esta investigación ofrece:

Un estudio sobre las redes eléctricas inteligentes y los resultados facilitan a los trabajadores de la Empresa Eléctrica de Villa Clara, un paso hacia la posterior propuesta de instalación de las mismas en el cayo Santa María de Villa Clara, ayuda a fortalecer el trabajo en la Empresa Eléctrica.

Estructura de la tesis.

Esta tesis está conformada por una introducción donde se precisa el diseño teórico y metodológico, y tres capítulos:

El capítulo uno presenta una reseña histórica de la generación en Cuba, identificando las características y tipos de generación distribuida, los efectos de su aplicación, los datos generales de los grupos electrógenos instalados, la descripción del sistema eléctrico en la provincia de Villa Clara y las características del sistema eléctrico aislado cayo Santa María.

El segundo contiene toda la teoría sobre las redes eléctricas inteligentes, su definición y funcionamiento así como los principales fabricantes de redes inteligentes y las principales iniciativas en el mundo.

El tercer capítulo refiere a los principales aspectos y tecnologías a considerar en las redes eléctricas inteligentes detallando los contadores y edificios inteligentes y la integración del vehículo eléctrico.

Con los resultados del estudio y los aspectos abordados se arriba a conclusiones y se efectúan recomendaciones.

CAPÍTULO 1: Situación actual de las redes convencionales.

Introducción

La humanidad experimenta en el último siglo un desarrollo inmenso sustentado en el consumo energético, basado en el aprovechamiento de fuentes de energía de origen fósil. Estas energías son explotadas suponiendo una disponibilidad ilimitada, y sin valorar en ningún momento los costos ambientales ocasionados. Este consumo energético tiene como modelo una rigurosa cadena que se lleva a cabo en el siguiente orden: generación, distribución, transporte y consumo. Sin embargo, el cambio de este modelo es más que una necesidad hoy en día, pero para ello es necesario estar bien actualizado en la conformación de las redes eléctricas convencionales que se tienen para poder dar los primeros pasos hacia un nuevo modelo donde se diversifiquen las fuentes de energía, se aprovechen las energías renovables y se aumente la eficiente.

1.1 Problemática del sistema eléctrico actual

Hoy día, las redes eléctricas están basadas principalmente en la generación eléctrica proveniente de grandes centrales conectadas a sistemas de transmisión de alta tensión que provee la energía necesaria, mediante transformaciones de tensión sucesivas, al sistema de distribución local a media y baja tensión. Aunque existe un incremento en la penetración de pequeñas unidades de generación en los sistemas de distribución (conocida como generación distribuida), la imagen general sigue siendo la de una red con flujo unidireccional, es decir, desde las centrales, vía sistema de transmisión y distribución, hasta el usuario final.

En este contexto, la entrega de energía y el control de la red suele ser la responsabilidad de instalaciones centralizadas, que pueden llegar a controlar varias regiones desde un solo lugar. La participación del consumidor resulta ser limitada o nula y la comunicación de un extremo al otro es prácticamente inexistente. Existen dos grandes amenazas para este modelo energético: una la crisis de abastecimiento energético, y el otro la emisión de gases contaminantes a

la atmósfera provenientes de la generación ambos exigen una mayor diversificación de la matriz energética orientada hacia las energías renovables. O sea, hay que lograr una mayor participación de los recursos renovables en la matriz energética (biomasa, geotérmica, hidráulica, solar, eólica), lo que brindaría mayor estabilidad en el abastecimiento.

Por otra parte, la infraestructura de las redes eléctricas en los países latinoamericanos está obsoleta y en muchos casos las pérdidas de la región superan en más de dos veces las que se producen en países desarrollados (Figura 1). [5]

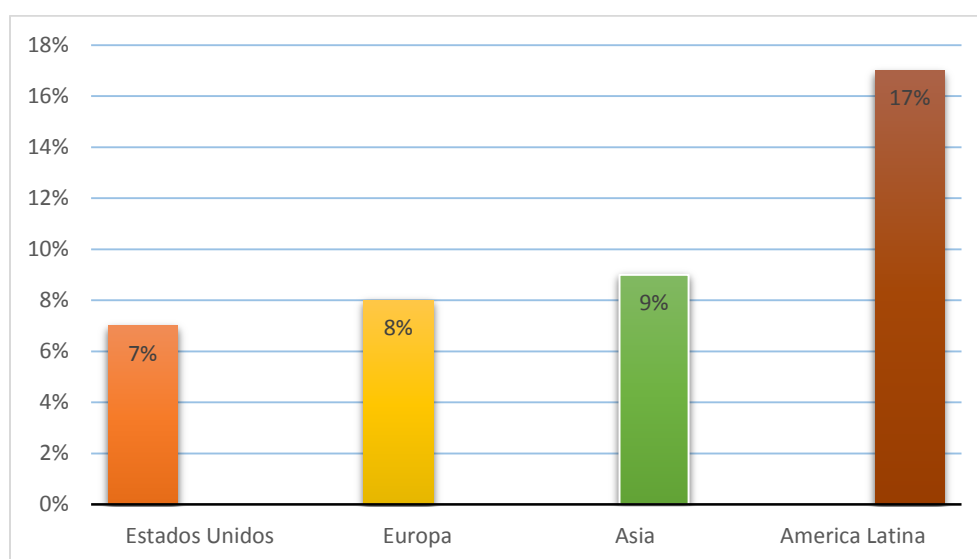


Figura 1: Nivel de pérdidas en la distribución en diferentes regiones del mundo.

Fuente: Elaboración propia

En Cuba, las centrales termoeléctricas no son muy eficientes y las pérdidas en las redes de distribución están en un 14%, por lo que el objetivo es llevarlo a un 10%. El panorama descrito y la solución a estas preocupaciones estratégicas, incluyen la implementación de medidas de eficiencia energética y la diversificación de los recursos energéticos primarios, lo que justifica la necesidad de realizar transformaciones en la infraestructura de generación, transporte, distribución y consumo de la electricidad con enfoques de tecnologías más modernas.

La infraestructura de la red eléctrica existente es un buen punto de partida para hacer frente a los desafíos y a las oportunidades resultantes de la modernización

del sistema completo. No obstante, el proceso de cambio debe ser planificado y gradual, de manera que la definición de una estrategia a largo plazo resulte ser una modalidad imprescindible de acercamiento a la tecnología de redes eléctricas inteligentes.

Los factores claves que están cambiando radicalmente el modelo de negocio de la distribución y comercialización eléctrica son muchos y muy variados:

- Sustentabilidad
- Cambios regulatorios
- Envejecimiento de la infraestructura
- Cambio climático
- Interacción de los clientes
- Confiabilidad de la red
- Sistemas aislados
- Generación distribuida
- Dificultades financieras
- Energías renovables
- Eficiencia de la red
- Crecimiento de la demanda

Entre los motores que impulsan el desarrollo de las redes eléctricas se encuentran la superación de barreras o limitaciones significativas de las redes actuales, la evolución hacia unas redes con una arquitectura y componentes más dinámicos y flexibles, la necesidad de automatizar y controlar las redes y la necesidad creciente de disponer de espacios para las redes.

Para la mejora de la eficiencia en todo el sistema eléctrico exige que se piense en algo más que en la generación distribuida. La tendencia es lograr redes eléctricas inteligentes que incorporen nuevas tecnologías de medición, mejoras en las comunicaciones entre todos los equipamientos y una mayor participación de los usuarios.

Por otra parte, la potenciación de las energías renovables dentro del sistema energético mundial, permitiría una reducción significativa de la emisión de gases

de efecto invernadero, aspecto este que es de vital importancia resolver en los próximos 20 años.

1.2 Características de la generación distribuida.

La Generación Distribuida (GD) representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada. Aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica. De hecho, la industria eléctrica se fundamentó en la generación en el sitio del consumo, después como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia el esquema de Generación Centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor.

Una definición muy conocida es la del IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*): "Generación Distribuida es la producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. Es un subconjunto de recursos distribuidos". [6]

La aplicación de una u otra tecnología en la GD depende de los requerimientos particulares del usuario. Los arreglos tecnológicos más usuales se citan a continuación:

Carga base. Se utiliza para generar energía eléctrica en forma continua; opera en paralelo con la red de distribución; puede tomar o vender parte de la energía, y usa la red para respaldo y mantenimiento

Proporcionar carga en punta. Se utiliza para suministrar la energía eléctrica en períodos de pico, con lo que disminuye la demanda máxima del consumidor, ya que el costo de la energía en este período es el más alto.

Generación aislada o remota. Se usa el arreglo para generar energía eléctrica en el modo de autoabastecimiento, debido a que no es viable a partir de la red eléctrica (sistema aislado o falta de capacidad del suministrador).

Soporte a la red de distribución. A veces en forma eventual o bien periódicamente, la empresa eléctrica requiere reforzar su red eléctrica instalando pequeñas plantas, incluida la subestación de potencia, debido a altas demandas en diversas épocas del año, o por fallas en la red.

Almacenamiento de energía. Se puede tomar en consideración esta alternativa cuando es viable el costo de la tecnología a emplear, las interrupciones son frecuentes o se cuenta con fuentes de energía renovables.

Las características principales de una generación distribuida (GD) son:

- **Reduce las pérdidas en la red eléctrica.** Estar más cerca del consumidor supone que las redes de transporte sean más cortas. Por lo tanto, la generación distribuida supone menos pérdidas de energía en el transporte de la electricidad desde la generación hasta el consumidor. Esto también influye en el ahorro a la hora de elevar la tensión eléctrica para su transporte.
- **Mejorar la fiabilidad y la calidad del sistema eléctrico.** Como hay pequeñas fuentes de generación (micro-generación), repartidas por el territorio, el fallo de una de las fuentes no supone un grave problema para el sistema eléctrico.
- **Energías renovables.** En la generación distribuida está muy presente las energías renovables, ya que al estar tan cerca del consumo, son las más adecuadas.

La generación distribuida a partir de energías renovables, tiene varias ventajas entre las que se pueden mencionar: [7, 8]

- ✓ Reducción del impacto sobre medio ambiente

- ✓ Utilización de recursos sustentables
- ✓ Instalación rápida y fácil
- ✓ Modularidad, permite inversión progresiva
- ✓ Elevada eficiencia y confiabilidad
- ✓ Eliminación de las pérdidas por transmisión
- ✓ Menores costos de Operación y Mantenimiento.

1.2.1 Aplicación de la generación distribuida en Cuba

Los sistemas empleados como fuentes de energía distribuida son plantas de generación de energía a pequeña escala (normalmente entre el rango de 3 kW a 10 MW) usadas para proporcionar una alternativa o una ayuda a las tradicionales centrales de generación eléctrica. Se comienza la introducción gradual a partir del 2005 debido a una crisis energética provocada por el deterioro de las plantas térmicas que sustentaban la generación eléctrica del país. En la figura 2 se puede ver como el principal beneficio de la Generación Distribuida para nuestro país fue la eliminación de los apagones en menos de un año. [9]

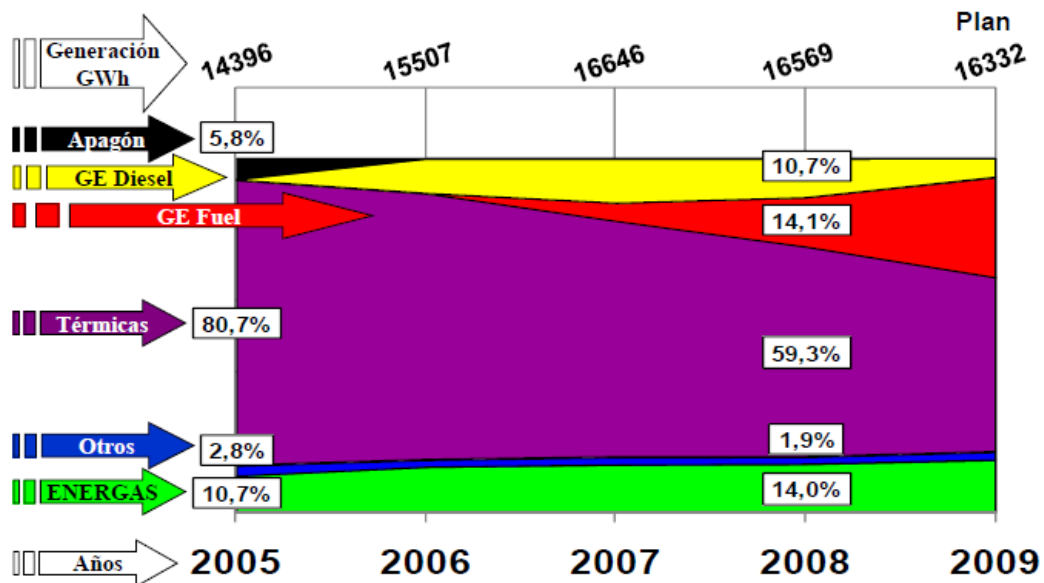


Figura 2: Diferentes plantas generadoras.

En la tabla 1 se muestran los valores de insumo y consumo específico de las centrales térmicas y la generación distribuida, lo que demuestra una eficiencia elevada por sus bajos valores de insumos e índices de consumo de combustible.

Tabla 1. Valores de insumos e índices de consumo de combustible.

Indicador	Centrales Térmicas	Generación Distribuida (Motores Fuel)
Insumos	7,0-10,0 %	2,5-3,0 %
Consumo específico	280-320 g/kWh	200-208 g/kWh

Paralelamente se trabajó en otras acciones dentro del Sistema Electroenergético Nacional, como fue la reducción de las pérdidas de transmisión que se puede ver su gráfico dentro de la figura 3.

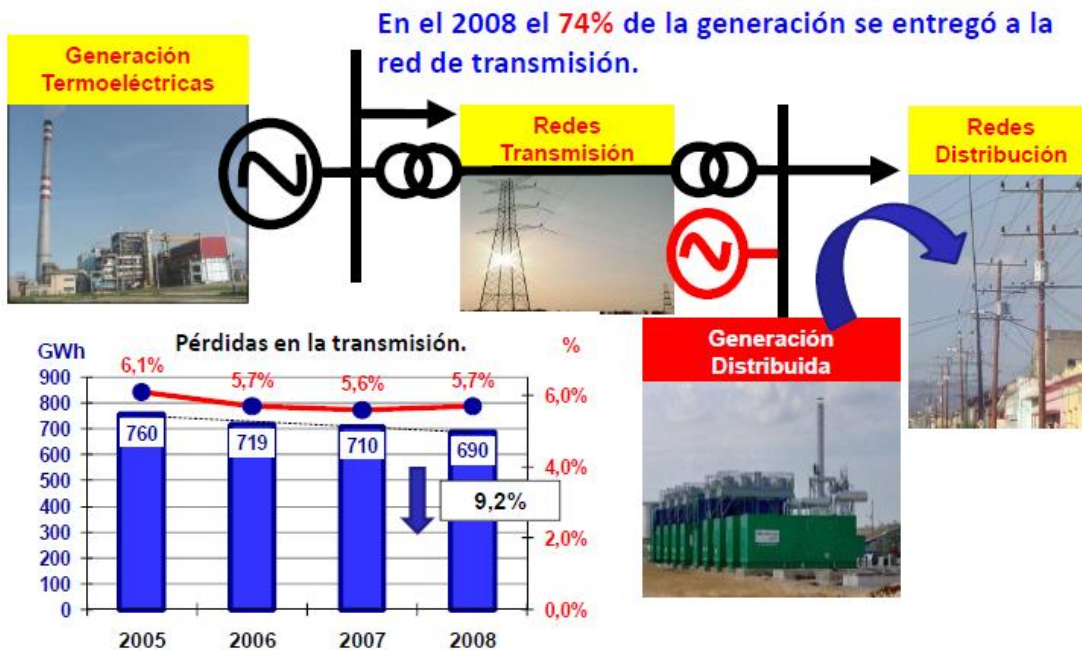


Figura 3: Impacto de la generación distribuida [9]

1.2.2 Datos generales de los grupos electrógenos instalados.

Las curvas de generación de los grupos electrógenos por años (Figura 4), reflejan que el pico de generación con diesel ocurrió en el año 2008 cuando se generaron algo más de 2000 GW hora pero a partir de ese año ocurre un descenso en el uso de ese combustible que alcanza en el 2014 solo unos 500 GW hora de generación mientras que con fueloil (Combustible hidrocarburo líquido, obtenido de la

destilación del petróleo crudo que tiene un alto poder calorífico) se logra aumentar los niveles hasta cerca de 3500 GW /hora.

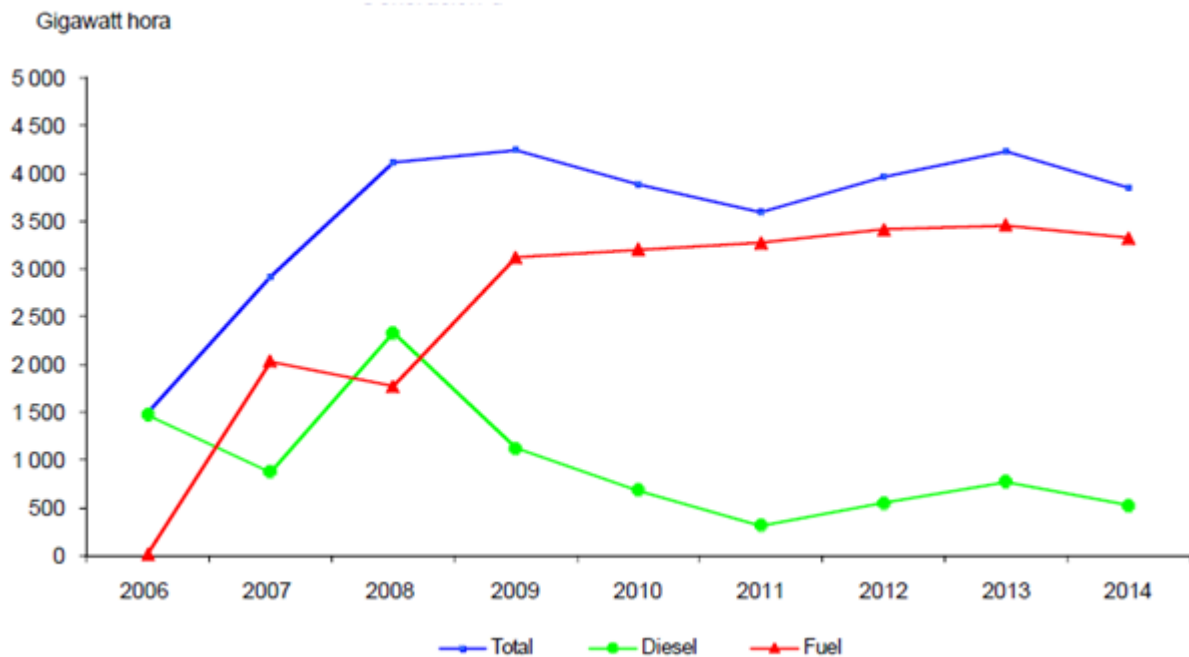


Figura 4: Generación de grupos electrógenos (por años) [10]

El número de grupos electrógenos instalados en el país en los últimos años asciende a más de 1400, sumando los 902 que utilizan combustible diesel y los 509 de fuel (tabla 2). Las provincias con mayor aplicación de esta tecnología son Pinar del Río, Mayabeque y Holguín que superan las 120 unidades.

Tabla 2: Número de grupos electrógenos por provincias (según combustible utilizado) [10]

CONCEPTO	Unidad					
	Total		Diesel		Fuel	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Total	1 410	1 411	910	902	500	509
Pinar del Río	118	121	98	101	20	20
Artemisa	94	97	67	69	27	28
La Habana	128	126	44	42	84	84
Mayabeque	133	133	105	105	28	28
Matanzas	100	102	72	74	28	28
Villa Clara	107	111	57	61	50	50
Cienfuegos	69	69	45	45	24	24
Sancti Spiritus	51	52	42	43	9	9
Ciego de Ávila	124	124	86	86	38	38
Camagüey	108	103	60	55	48	48
Las Tunas	44	43	20	19	24	24
Holguín	130	132	106	100	24	32
Granma	68	65	44	41	24	24
Santiago de Cuba	67	64	31	28	36	36
Guantánamo	57	57	29	29	28	28
Isla de la Juventud	12	12	4	4	8	8

Fuente: Unión Eléctrica

En la figura 5 se puede constatar como aumenta la generación a partir de fuel en los grupos electrógenos.

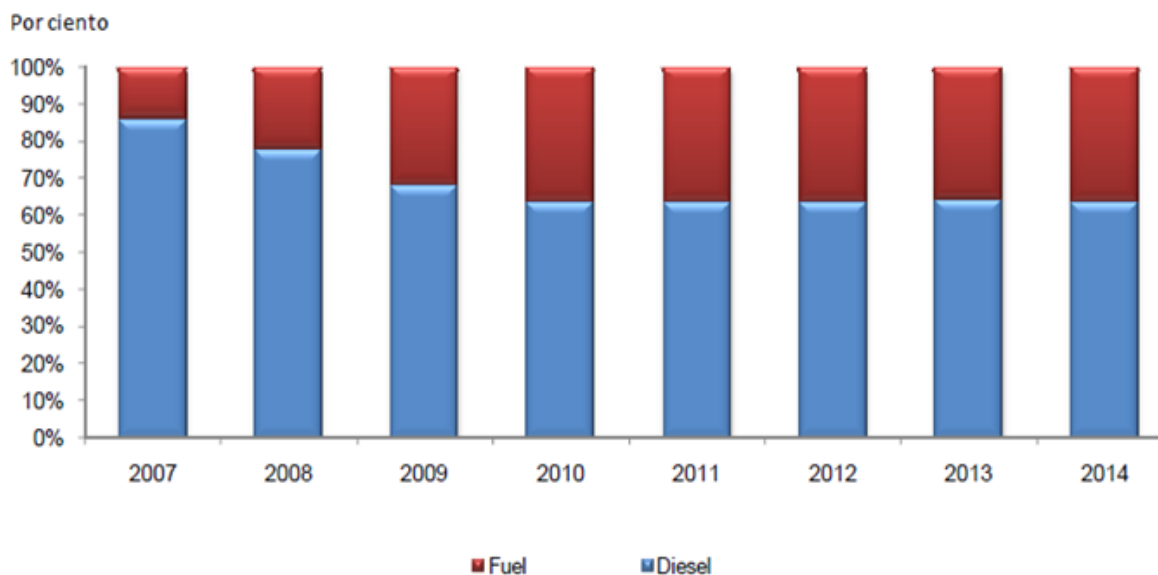


Figura 5: Estructura de la generación de grupos electrógenos (por años) [10]

La estructura del número de grupos electrógenos por provincias según el combustible utilizado (tabla 3) indica que al cierre del 2014, el total de grupos diésel con un 63,9 % es superior al 36,1 % de unidades fuel. Solo en algunas provincias como La Habana, Las Tunas, Santiago de Cuba y la Isla de la Juventud el número de los grupos fuel es mayor.

Tabla 3: Estructura del número de grupos electrógenos por provincias (según combustible utilizado) [10]

CONCEPTO	Por ciento			
	2013		2014	
	Diesel	Fuel	Diesel	Fuel
Total	64,5	35,5	63,9	36,1
Pinar del Río	83,1	16,9	83,5	16,5
Artemisa	71,3	28,7	71,1	28,9
La Habana	34,4	65,6	33,3	66,7
Mayabeque	78,9	21,1	78,9	21,1
Matanzas	72,0	28,0	72,5	27,5
Villa Clara	53,3	46,7	55,0	45,0
Cienfuegos	65,2	34,8	65,2	34,8
Sancti Spiritus	82,4	17,6	82,7	17,3
Ciego de Ávila	69,4	30,6	69,4	30,6
Camagüey	55,6	44,4	53,4	46,6
Las Tunas	45,5	54,5	44,2	55,8
Holguín	81,5	18,5	75,8	24,2
Granma	64,7	35,3	63,1	36,9
Santiago de Cuba	46,3	53,7	43,8	56,3
Guantánamo	50,9	49,1	50,9	49,1
Isla de la Juventud	33,3	66,7	33,3	66,7

A partir de este momento en que los motores fuel fueron los primeros en ayudar en la generación debido a su puesta en marcha rápida como el país sigue la diversificación de otros tipos de generaciones y esta vez basados en fuentes renovables de energías como son la eólica, hidráulica y fotovoltaica.

1.3 Uso de energías renovables en Cuba

1.3.1 Energía hidráulica

La energía hidráulica, o hidroenergía, es la tecnología más antigua empleada para la producción de electricidad. Una quinta parte de la electricidad producida en el mundo proviene de ella.

El uso de la hidroenergía como fuente de generación de electricidad, en Cuba, data de principios del siglo xx, cuando se pusieron en explotación pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

En el país existen 147 instalaciones para un potencial total de 65.2 MW (Figura 6), la mayor parte de las que se encuentran en operación están ubicadas en la región oriental.[11]



Figura 6: Instalaciones hidroenergéticas en Cuba.

El potencial hidroenergético disponible permite llegar en los próximos años a más de 100 Mil kW, para lo cual hay que instalar unos 56.088 MW en presas y trasvases. El programa Inversionista considera la instalación de 56 MW.

1.3.2 Energía eólica

El inventor norteamericano Charles F. Brush marcó un hito histórico al diseñar y construir en 1888 la primera turbina eólica de funcionamiento continuo para generar electricidad. El rotor del aparato tenía un diámetro de 17 metros y 144 palas fabricadas con madera de cedro. Su potencia era de 12 kW y servía para cargar baterías en el sótano de su casa.

Esta es la tecnología energética renovable que más se ha expandido en los últimos años, compitiendo con tecnologías convencionales no renovables como las que usan combustibles fósiles y la nuclear. En el 2008 las turbinas eólicas generaron unos 260 TWh, un 1,5 por ciento de la energía eléctrica producida en el

planeta. Según la Asociación Mundial de Energía Eólica, la potencia eólica instalada globalmente supera los 121 GW. Setenta y seis países la emplean para generar electricidad.

Los expertos consideran que para 2020, en el mundo habrá una potencia eólica instalada de más 170 GW, el empleo de la energía eólica para generar Electricidad evitará la emisión de unos 10 000 millones de toneladas de CO₂ al año.

Un parque eólico como el de la Isla de la Juventud puede evitar la emisión anual de más de 1 200 toneladas de GEI. Un aerogenerador produce durante seis meses y un año, como promedio, la energía invertida en su fabricación y continúa generando electricidad durante 20 a 25 años.

De acuerdo con la Asociación Mundial de Energía Eólica, Cuba ocupaba al finalizar 2007, el lugar 61 en potencia eólica instalada. El primer parque eólico cubano se yergue como firme demostración de las potencialidades del viento en el archipiélago para producir electricidad, se ubica en Isla Turiguanó, provincia de Ciego de Ávila, y tiene dos máquinas de 225 kW.

El país cuenta hoy con herramientas muy importantes para planificar su desarrollo eólico, entre las que está el mapa del potencial eólico nacional. Con la instalación del parque Gibara 2 se llegó a 11,7 MW. En diez años se pueden tener instalados varios cientos de mega watt, de un potencial que los cálculos más conservadores sitúan en unos 2 000 MW. El impacto de los huracanes resulta el factor más complejo. Los ciclones de 2008 causaron daños menores en el parque eólico Los Canarreos, en la Isla de la Juventud, que cuenta con tecnología anticiclónica, y en Gibara 1, donde fue destruida la casa de control, pero las turbinas soportaron el embate de Ike.

Los parques eólicos ubicados en el municipio de Gibara en Holguín (Figura 7) aportaron en lo que va de año más de 15 mil mega watts/hora al Sistema Electroenergético Nacional. Gibara-1 y Gibara-2 se fundaron en 2008 y 2010, respectivamente, como una estación experimental que asume actualmente el 30 por ciento de la energía que se consume en ese municipio.



Figura 7: Parque eólico Gibara

Esta zona de explotación de la energía renovable contribuyó, además, a la protección del medio ambiente, porque se dejaron de emitir a la atmósfera más de 11 mil toneladas de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, cuyas concentraciones aceleran el calentamiento global.

1.3.3 Energía Fotovoltaica

El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849 cuando el científico francés, Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas.

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía lumínica puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica en edificios. Así se puede dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40 % del total y la dependencia energética.

En nuestro país, en los últimos años, la electrificación de objetivos sociales y económicos utilizando la energía solar fotovoltaica ha tenido un desarrollo acelerado, en el marco de la directiva de Electrificación Rural, al utilizar este tipo de energía que aparece en el Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía aprobado en junio de 1993 y en el Programa Nacional de Ciencia y Técnica: “Desarrollo Energético Sostenible” del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Para la electrificación rural se promueve principalmente en lugares alejados de las redes del SEN la energía fotovoltaica.

Cuba posee un alto nivel de radiación solar; cada metro cuadrado de su territorio recibe 5 kWh/m² día. Proyecciones futuras prevén aumentar 700 MW en parques solares, con esto se disminuiría grandemente las emisiones de CO₂.

Se encuentra en proyecto la instalación de 50 MW en la Zona de Desarrollo Mariel. Se incrementó la capacidad de producción nacional de paneles solares de 10 a 15 MWp anuales y se trabaja para llegar a 50 MWp por año.

En el caso de las aplicaciones fotovoltaicas conectadas a la red, su desarrollo fue iniciado en el año 2012 con la instalación del primer MW en Cantarrana, provincia de Cienfuegos. El país tiene proyectos de inversión a decisión del Estado Cubano de instalar 29 MW en sistemas de inyección a Red, a partir de la experiencia adquirida con la instalación del primer MW en el 2012.

En la ciudad de Santa Clara está generando el parque fotovoltaico conectado a la barra de 33 kV en la carretera del Frigorífico con una potencia máxima instalada de 884 kW y según previsiones oficiales, durante este mismo año comenzaban a operar otros cinco parques solares en las provincias de La Habana, Guantánamo, Camagüey, Santiago de Cuba y la Isla de la Juventud, los cuales una vez concluidos, deberán aportar 10 MW.

Las principales ventajas asociadas al uso de ésta tecnología para la generación de energía eléctrica se resumen en que:

- ❖ La generación de electricidad con fuentes renovables de energía hace más competitivo al país.
- ❖ Garantiza la diversificación de la matriz energética del país.
- ❖ Usa una fuente de energía inagotable y gratuita.
- ❖ No provoca ningún tipo de contaminación medioambiental ni por emisión ni por vertido.
- ❖ Aporta seguridad en el suministro.
- ❖ Facilita la realización de ampliaciones a futuro de la potencia de la instalación.
- ❖ Disminuye el costo de la electricidad que se entrega a los consumidores.

1.4 Sistema Eléctrico de Villa Clara

La energía eléctrica de la provincia Villa Clara procedente del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) llega a través de la subestación Santa Clara 220 kV y además se transfiere o se recibe energía a través de Placetas 110 kV conectada a la parte oriental del SEN. A partir de estos puntos de entrada la energía se distribuye hacia 13 subestaciones de 110 kV de las cuales dos son de uso exclusivo y el resto de uso compartido. Estas subestaciones de 110 kV enlazan todos los municipios de la provincia (756 km con 31 circuitos) y por la posición geográfica de la provincia se transfiere energía a las provincias vecinas de Sancti Spíritus y Cienfuegos y se recibe energía de las redes de las provincias occidentales, orientales y Cienfuegos.

La provincia cuenta con la hidroeléctrica del Habanilla de 45 MW además, con 10 centrales azucareros que sincronizan al SEN y con cinco minihidroeléctricas en el municipio montañoso de Manicaragua.

La generación distribuida en Villa Clara comienza a introducirse a finales del 2005 en dos variantes fundamentales: grupos aislados o en las denominadas baterías.[12]

El polo turístico cayo Santa María, se encuentra dentro de la provincia pero es un sistema aislado del SEN. Al mismo ritmo en que se fueron construyendo los hoteles, fue necesario sumar equipos de generación eléctrica, que tienen diferentes tecnologías —MTU, Hyundai y MAN—, esto más que una desventaja posibilita dar servicio a los clientes por dos vías y además el conjunto de motores emplazados allí trabaja con fueloil, lo que permite un ahorro de 350 dólares por cada tonelada de combustible consumido. El emplazamiento cuenta con 18 máquinas capaces de generar 34,8 MW. Abastecen actualmente 106 clientes, incluidos varios hoteles que superan las 10 mil habitaciones, así como la infraestructura extrahotelera. Se necesitan diariamente entre 45 y 50 toneladas de combustible para satisfacer la demanda, que es de 14 MW y que debe crecer en este 2016 hasta 20 MW

Para hacer llegar el servicio eléctrico a todos los consumidores de este sistema aislado se dispone de una red de distribución soterrada de 700 kilómetros y 18 circuitos. En el futuro deben instalarse nueve unidades generadoras más, además de un parque solar fotovoltaico de 3 MW, con lo que se dejarán de consumir diariamente tres toneladas de combustible, y disminuirá la carga contaminante al medio ambiente. Estas proyecciones permitirán enfrentar la demanda de futuras instalaciones hoteleras.

La fiabilidad eléctrica de este emplazamiento se garantiza con una subestación de tecnología moderna de tipo compacta. La inversión suplantó los sistemas de protección que poseía una más atrasada. La instalada no solo protege las líneas, sino que discrimina un circuito en falla sin afectar el resto. Posee, asimismo, un enlace de barra, el cual permite que ante una falla pueda conmutarse la electricidad de un circuito para otro, automática o manualmente. Esta moderna tecnología logra más confiabilidad en el servicio eléctrico a partir de que posibilita mayor flexibilidad para la operación del sistema eléctrico del cayo en su conjunto, ofrece datos que permite mantener un monitoreo en tiempo real a todos los parámetros técnicos para la toma de decisiones y las diversas operaciones; pueden balancearse las cargas y se integran las tres tecnologías.



Figura 8: Sala de control de la Subestación

La nueva subestación posee equipos de comunicación para monitorear los tres sistemas de grupos electrógenos y conocer el estado de cargabilidad de los circuitos (figura 8).

En el anexo 1 se muestran las curvas de consumo del cayo Santa María correspondientes a un mes tipo donde se aprecian los valles principalmente en horario de madrugada y los picos en los horarios de más demanda, desayuno, almuerzo y comida.

Este sistema aislado del cayo Santa María por todas las características descritas anteriormente y por su necesidad de un servicio eficiente es muy factible para iniciar en el mismo la instalación de redes eléctricas inteligentes.

Conclusiones parciales.

En este capítulo se realizó un análisis de las redes eléctricas convencionales, mostrando las ventajas de la generación distribuida al disminuir drásticamente las pérdidas por el transporte energético y en la red, se mejora la fiabilidad y la calidad del sistema eléctrico. Las tecnologías de generación empiezan a apartarse de la ruta de las grandes unidades generadoras en favor del uso de tecnologías cada vez de menor tamaño, pero con mayores economías en los procesos de manufactura y por sus bajos valores de insumos e índices de consumo de combustible, acercando la generación al cliente. La explotación las diversas fuentes renovables de energía crece, por ser limpias y sobre todo sostenibles. La diversificación de la matriz energética trae consigo cambios en el modelo

energético, lograr 100% de autoabastecimiento energético con fuentes renovables de energía es un reto para esta generación, pero conlleva a cambios no solo en la forma de generación sino de las redes eléctricas de forma general.

CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos de las redes eléctricas inteligentes

Introducción.

Con el surgimiento actual de nuevas tecnologías que permiten contar con redes cada vez más automatizadas, sistemas de energía confiables y servicios de mejor calidad, tal es el caso de las **Redes Inteligentes *Smart Grids***. Este nuevo concepto de redes inteligentes debe ser evaluado para analizar su factibilidad de implementación en las empresas eléctricas, tomando en cuenta las experiencias positivas que en otros países se han planteado y que podrían ser adaptadas a nuestras realidades económicas, sociopolíticas, ambientales y principalmente a la estructura de funcionamiento y gestión de las empresas eléctricas de distribución nacionales. En este capítulo se manifestarán los aspectos más trascendentales acerca de las redes eléctricas inteligentes, que encaminen la modernización y mejora del servicio eléctrico.

2.1 Definición de redes eléctricas inteligentes (REI)

La REI es un concepto que se extiende a lo largo de la cadena de suministro de energía: generación, transmisión, distribución y consumo. Por definición, la REI tiene la flexibilidad de satisfacer las necesidades particulares de una región, país o de una empresa de servicios eléctricos. A continuación se presentan definiciones representativas de la REI.

La Plataforma Tecnológica Europea de Smart Grids define una red inteligente como “una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuario conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones – con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.”

[2, 13]

En la definición del Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, una REI utiliza la tecnología digital para la modernización del sistema eléctrico (desde

grandes sistemas de generación, a través de los sistemas de conducción para el consumo de electricidad) y se define por siete funciones en base al rendimiento:

- Participación del consumidor,
- Integración de todas las opciones de generación y almacenamiento,
- Nuevos mercados y operaciones,
- Calidad de energía para el Siglo XXI,
- Optimización de activos y eficiencia operativa,
- Auto recuperación de disturbios y resistencia contra ataques y desastres.

La Smart Grid integra electricidad y comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación, y 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. [14]

El Foro Económico Mundial define a la REI a través de las siguientes siete características clave:

- Autocorrección y flexibilidad,
- Integración de tecnologías de bajas emisiones de carbono,
- Optimización de activos y eficiencia operativa,
- Inclusión del cliente,
- Aumento en la calidad de energía,
- Evolución del mercado

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) señala que una REI es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales avanzadas, entre otras, para controlar y gestionar el transporte de electricidad, a partir de todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de electricidad de los usuarios finales. La REI coordina las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de la red, los consumidores y los participantes del mercado de electricidad para operar todas las partes del sistema de la manera más eficiente posible, minimizando los costos y el impacto ambiental, al mismo tiempo

maximizando la confiabilidad del sistema, la capacidad de recuperación y la estabilidad.[15]

El Departamento de Energía de los Estados Unidos define las redes inteligentes como “un tipo de tecnología que las personas están usando para modernizar los sistemas de suministro del servicio público de electricidad, según las exigencias del siglo XXI, utilizando equipo de cómputo con base en el control remoto y la automatización. Estos sistemas son posibles gracias a la tecnología de comunicación bidireccional y al equipo de procesamiento que se ha utilizado durante décadas en otras industrias. Están empezando a utilizarse en las redes eléctricas, desde centrales eléctricas y parques eólicos hasta los consumidores de electricidad en los hogares y empresas. Ofrecen muchos beneficios a empresas de servicios públicos y a los consumidores, que son mayormente observados en grandes mejoras en la eficiencia energética de la red eléctrica y en los hogares y oficinas de los usuarios de energía”. [16]

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) define las redes inteligentes así: “Una red inteligente es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y otras tecnologías avanzadas para controlar y gestionar el transporte de electricidad, a partir de todas las fuentes de generación, con el fin de satisfacer la demanda variable de electricidad de los usuarios finales. Las redes inteligentes coordinan las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de red, usuarios finales y actores del mercado eléctrico para utilizar todas las partes del sistema de la manera más eficiente posible, reduciendo al mínimo los costos y el impacto ambiental mientras se aumenta al máximo la fiabilidad, resistencia y estabilidad del sistema”. [17]

El Instituto Coreano de Redes Inteligentes (KSGI, por sus siglas en inglés) establece que una “Red inteligente se refiere a una red de próxima generación que integra la tecnología de la información a la red eléctrica existente para optimizar la eficiencia energética a través del intercambio bidireccional de información eléctrica, en tiempo real, entre los proveedores y los consumidores”.

La Plataforma Tecnológica Europea de Smart Grids (Smart Grids: European Technology Platform) define una red inteligente como “una red eléctrica capaz de

integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones – con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.”

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías de autoajuste con el fin de:

- Fomentar la participación de los usuarios de forma activa en la red.
- Permitir la coexistencia en la red de todo tipo de generadores, independientemente de su tamaño o tecnología.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Reducir el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación y el transporte energético.
- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada, permitiendo al usuario que lo requiera disponer de cierto grado de calidad en su suministro energético.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente.
- Promover la integración de los mercados hacia el mercado Europeo, y facilitar el transporte de energía a largas distancias.

El concepto de redes eléctricas inteligentes hace referencia a la utilización de las tecnologías de la información y de la comunicación en las redes eléctricas, con el fin de disponer de sistemas de medición, protección, control y supervisión, que garanticen una gestión óptima y sostenible. De esta forma, se consigue mayor fiabilidad y calidad de suministro con menor costo.

Una Smart Grid no es resumible en dispositivos específicos, cosas o actos concretos. Se basa en el uso de tecnologías de forma que se mejoran en todos los aspectos las funcionalidades del suministro eléctrico. Un sistema se convierte en inteligente adquiriendo datos, comunicando, procesando información y ejerciendo control mediante una realimentación que le permite ajustarse a las variaciones que puedan surgir en un funcionamiento real.

2.2 Características y ventajas de las redes eléctricas inteligentes.

Las redes eléctricas inteligentes se basan en tres aspectos fundamentales: información, inteligencia y acción. Mientras mayor información se tenga sobre el estado actual de la red eléctrica (por ejemplo, consumo en cada punto, estado de carga de los conductores, estado de cada generador, temperatura exterior, nivel de insolación, etc.), mayores serán las alternativas de acción. Segundo a segundo, la red puede tomar decisiones y generar acciones: ¿es necesario disminuir la demanda? ¿Existe una falla y la red debe reconfigurarse automáticamente para aislarla? ¿Los generadores solares están inyectando mucha energía, y existe la posibilidad de almacenarla? Todas estas decisiones se toman mediante dispositivos de control, normalmente dispersos, pero coordinados, y en tiempo real. Las tecnologías de información y comunicación facilitan este proceso.

De acuerdo con la visión de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), las redes eléctricas deberán adoptar un nuevo rol para gestionar el suministro eléctrico de manera eficiente, sostenible, económica y segura, lo que requiere estructurar el sistema en tres bloques: aplicaciones en tiempo real, infraestructuras de comunicaciones y plataformas de control.

Para la implementación de los sistemas inteligentes deben tenerse en consideración ciertos criterios básicos que justifiquen su aplicación como nuevo modo de trabajo de las redes de distribución, es por ello que a continuación se enumeran algunas de las principales ventajas de esta nueva era tecnológica dentro de los sistemas eléctricos.[18]

- **Flexibilidad:** Las redes inteligentes son flexibles y se adaptan fácilmente a las necesidades cambiantes del sistema, además, de ser bidireccional, intensiva y segura en la utilización de las diferentes infraestructuras eléctricas que puedan presentarse.
- **Inteligente y segura:** Una smart grid es capaz de operarse y protegerse con seguridad y simplicidad, ofreciendo una disponibilidad de la información necesaria en tiempo real.
- **Eficiente:** Permite satisfacer las necesidades energéticas minimizando las exigencias de nuevas infraestructuras.

- **Abierta:** Permite integrar de forma segura las energías renovables y crear nuevas oportunidades de negocio, igualmente, facilita el desarrollo de los mercados eléctricos
- **Sostenible:** Las redes inteligentes son amigables con el medio ambiente y es socialmente aceptada.
- **Participación activa del usuario:** En la red actual el usuario es una parte completamente pasiva, el desarrollo de las redes pretenderá desarrollar una actuación del usuario más participativa, surgiendo oportunidades de microgeneración, demanda energética flexible, servicios adaptados a sus necesidades, etc. Para lograr este punto será necesario incentivar la participación del usuario a la hora de entregar energía generada localmente, en función de su cantidad y la franja horaria.
- **Flujo de energía es bidireccional:** Los consumidores comienzan a jugar un papel activo, son capaces de inyectar energía en el sistema además de consumirla.

Smart Grid facilita la prevención y reducción de fallas en los equipos, incluyendo las fallas por errores humanos. Además, permite optimizar la capacidad instalada y automatizar los programas de mantenimiento. Adicionalmente, ayuda a reducir las pérdidas en la transmisión y distribución de energía al implementar generación distribuida y hace más eficiente el consumo por parte de los usuarios. [19]

El proyecto de una red eléctrica inteligente deberá tener en cuenta las intervenciones a realizar en cada uno de los tramos de la cadena de abastecimiento eléctrico. En la tabla 4 se muestra una comparación entre las principales características de una red inteligente, con las de las redes convencionales que se utilizan en la actualidad.

Tabla 4: Comparación entre las características de una red inteligente, con las de las redes convencionales.

Red eléctrica convencional	Red eléctrica inteligente
Electromecánica	Digital
Comunicación unidireccional (si existe)	Comunicaciones bi-direccionales
Infraestructura para generación centralizada	Generación distribuida y renovable – interconecta sistemas Híbridos.
Sistemas de supervisión y vigilancia con limitaciones	Sistemas de supervisión y vigilancia con n-sensores a lo largo de la red (alta visibilidad del comportamiento)
Comprobación de los equipos y establecimiento manual	Restablecimiento automático con apoyo de sistemas de toma de decisiones – auto - restablecimiento
Control restringido en flujos de potencia	Sistemas de control dominantes – estimador de estados.
Sustentabilidad – concepto no prioritario	Sustentabilidad y cambio climático – características inseparables de la red
Información de precios y consumos restringida	Información de precios total y completa al cliente
Propensas a fallas, disturbios continuos y apagones	Esquemas de protección adaptivos y en islas
Consumidores sin apenas elección	Consumidores protagonistas

En esta tabla se puede apreciar como la redes eléctricas inteligentes superan a las redes convencionales en todos los aspectos por lo que el autor considera oportuno, factible e imprescindible el paso a un cambio en las redes eléctricas. [14] [16]

2.3 Funcionamiento de las REI

Una red eléctrica inteligente es aquella capaz de integrar las acciones de todos los agentes, ya sean productores, consumidores o ambas cosas al mismo tiempo, para distribuir energía de forma eficiente, sostenible, rentable y segura. La red inteligente utiliza productos y servicios innovadores, así como tecnologías avanzadas de monitorización, control, y comunicación, que aportan beneficios porque aumentan el nivel de fiabilidad y calidad en el suministro de energía eléctrica, facilitan a los clientes instrumentos que les permiten optimizar su propio

consumo eléctrico y mejorar el funcionamiento del sistema global (gestión activa de la demanda). Las redes inteligentes dan al usuario la información y las herramientas necesarias para tomar decisiones sobre su uso de la energía: el cliente podrá ver cuánta electricidad consume, cuándo la utiliza y cuánto le cuesta, y ahorrar dinero generando su propia energía y eligiendo el mejor momento para consumir electricidad.

Contribuyen a mantener la sostenibilidad ambiental, una red inteligente permite la máxima integración de la generación distribuida procedente de fuentes renovables y de instalaciones de almacenamiento de energía, así como el despliegue de la infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica. Todo esto contribuyendo de manera extraordinaria a la reducción de las emisiones de CO₂.

El diseño de una red inteligente que se muestra en la Figura 9 refleja las microredes que puede monitorearse y repararse por sí misma. Representa la vinculación entre las aplicaciones inteligentes, procesadores, sensores, las fuentes de energía renovable así como las áreas de almacenamiento para el uso de energía en tiempo posterior. [20]

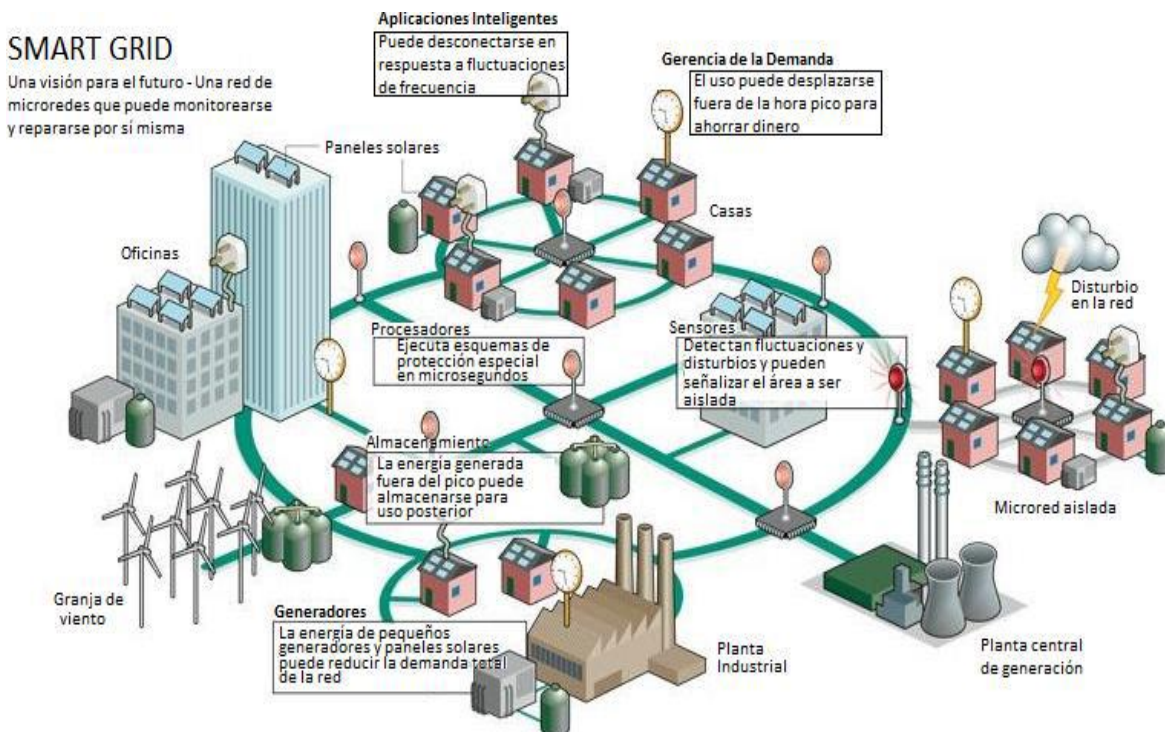


Figura 9: Diseño de una red inteligente

Se pueden dividir una red inteligente en las siguientes capas:

- La capa física donde se produce la conversión, transporte, almacenamiento y consumo de la energía;
- La capa de sensores y actuadores que perciben el entorno y controlan los equipos;
- La capa de comunicación;
- La capa de inteligencia y decisión. Equivale al cerebro humano. Esta capa se compone de todos los programas informáticos que se ejecutan en los relés digitales que controlan las líneas de transporte, los dispositivos electrónicos inteligentes, los sistemas de automatización de subestaciones, el centro de control de la operación, etc.

Las REI mejoran la eficiencia en la distribución de los flujos de energía y aportan la flexibilidad en la gestión de los picos de demanda, con la consiguiente disminución de las necesidades de nuevas instalaciones de generación y el aumento del aprovechamiento de las infraestructuras eléctricas actuales.

En la figura 10 se muestra la ejemplificación de las diferentes ventajas en la gestión de los consumos obtenidas con la implementación de una red eléctrica inteligente.

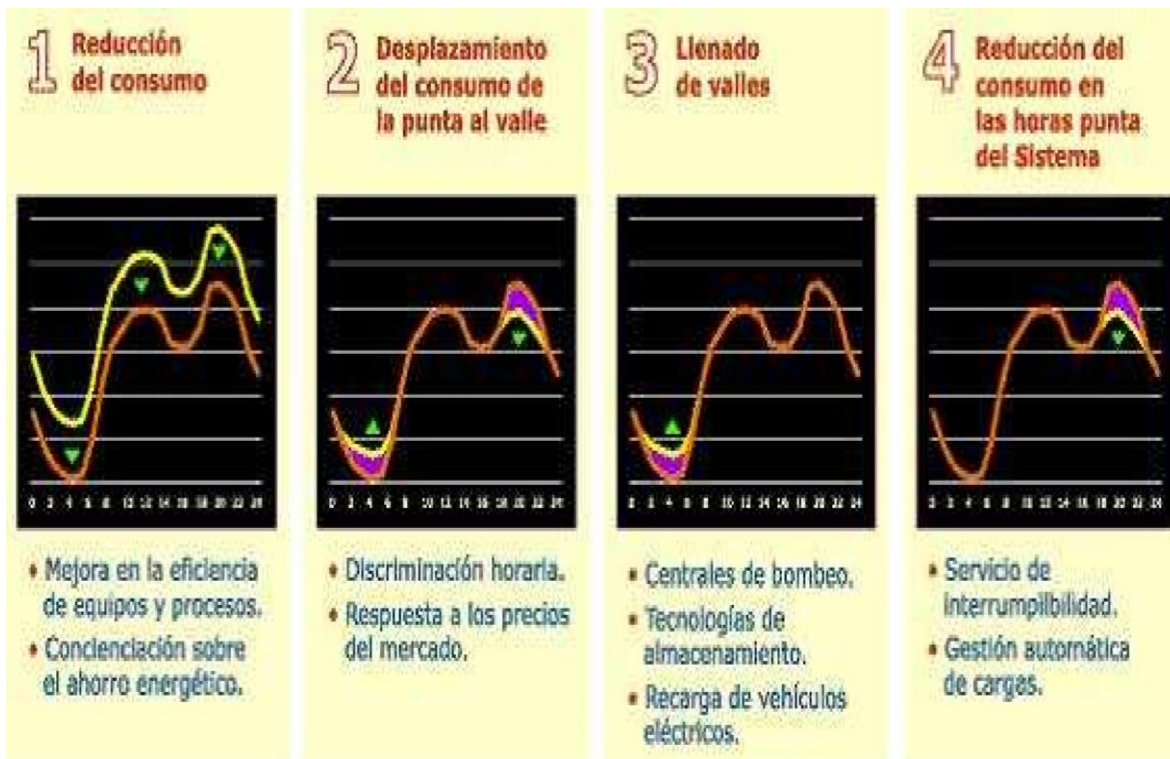


Figura 10: Gestión de los consumos energéticos por medio de la Smart Grid [21]

Ante el incremento de la complejidad del sistema eléctrico, que seguirá creciendo, las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) son el sistema nervioso para garantizar la coordinación de todos los agentes que forman parte de él. Estos permiten gestionar y controlar el suministro eléctrico en un marco de sostenibilidad técnica y económica. La red eléctrica está introduciendo cada vez más estas tecnologías en sus equipos y sistemas, proporcionando así una mayor capacidad de interconexión, aportando a la red una mayor inteligencia y garantizando el suministro eléctrico a los usuarios.

El aumento de la presencia de las TICs es un hecho transversal que afectará en mayor o menor medida a todos los ámbitos del sector eléctrico. Una smart grid requiere de una arquitectura de red y de una infraestructura que posibilite el intercambio continuo de información con los clientes, instalaciones y operaciones. Para obtener y enviar toda esta información, es necesaria una vasta red de comunicaciones que dé solución a los nuevos desafíos del sector eléctrico, en la figura 11, se muestra como se controla la información desde los centros de

generación a través de las líneas de transmisión, pasando por las sub estaciones, el sistema de distribución con la integración de los sistemas de adquisición de datos y el uso de medidores inteligentes hasta llegar a los clientes finales, todos estos elementos conforman la red eléctrica inteligente. [20, 22]

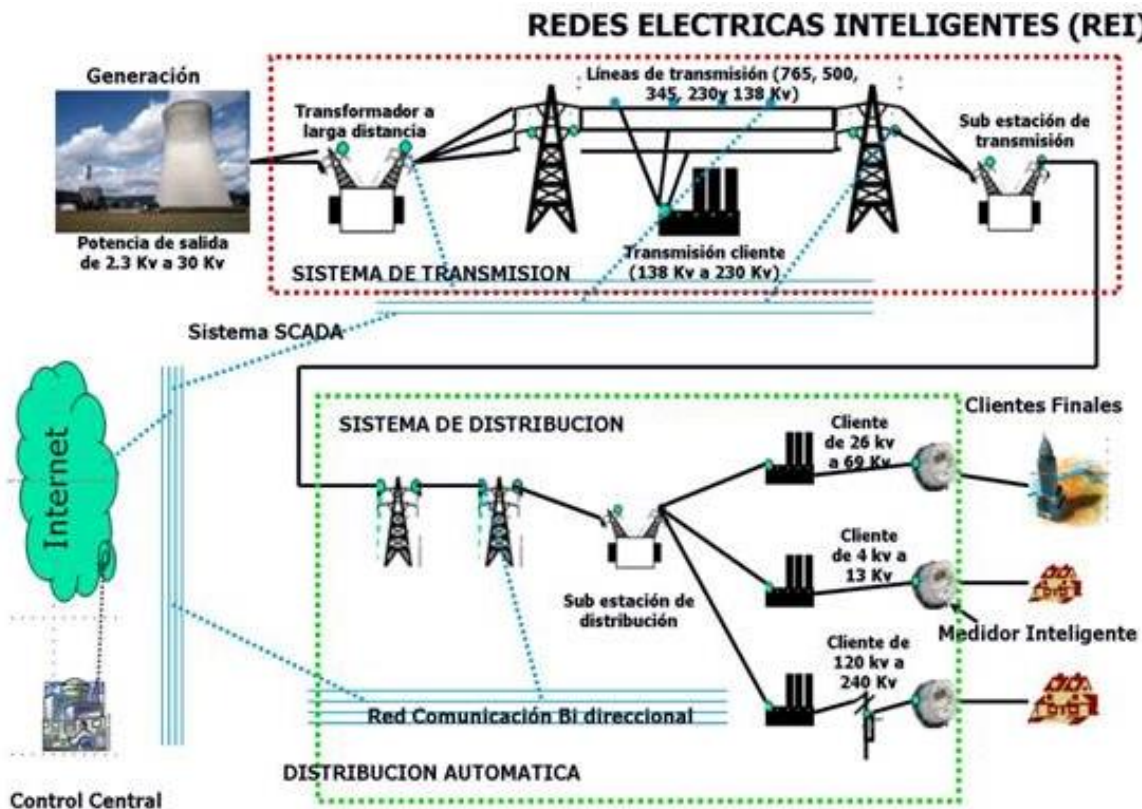


Figura 11: Redes eléctricas inteligentes.

Se puede constatar que existen cinco tecnologías fundamentales para conformar una REI:

- Las comunicaciones integradas, que conectan componentes de arquitectura abierta y permiten la información y control en tiempo real de manera bidireccional
- Sensores y tecnologías de medición para apoyar una respuesta más rápida y más exacta que el control remoto, permitiendo gerenciar en tiempo real la facturación y la demanda de energía
- Componentes de tecnología de punta (la última) que dé cabida a la incorporación de los resultados de la investigación en superconductividad, almacenaje de energía, energía electrónica y de diagnóstico.

- Componentes avanzados de supervisión que permitan un diagnóstico rápido y soluciones adecuadas de cualquier evento en la red
- Mejores interfases y soportes que ayuden en la decisión humana, y transformar a los operadores en gerentes de su propia red.

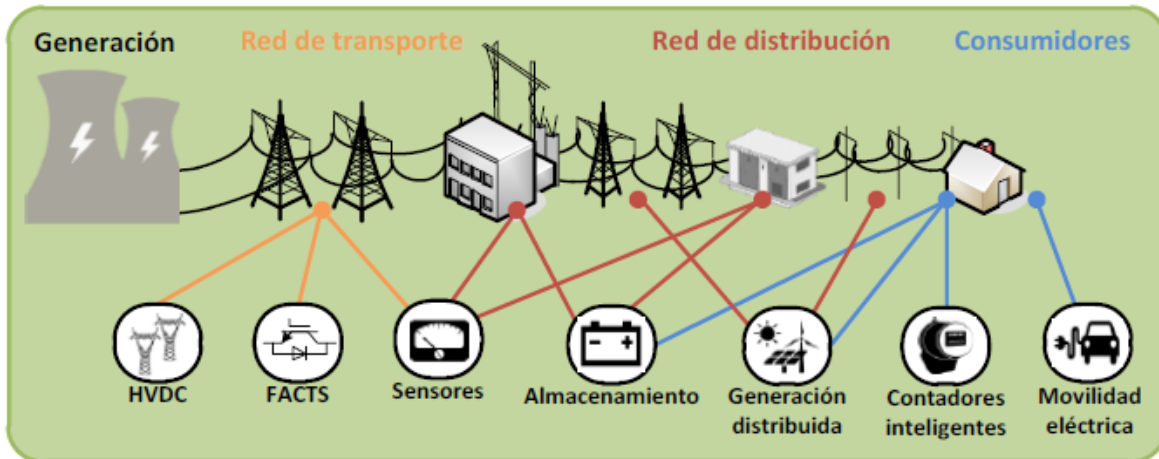


Figura 12: Localización de las tecnologías prioritarias para las smart grids.

Resumiendo, estas tecnologías controlan, informan, comunican, integran tecnologías y optimizan el uso de la energía, y por ende reducen los costos a nivel de toda la REI. La localización de las tecnologías prioritarias para las smart grids se muestra en la figura 12.

Otra de las grandes transformaciones que permite una REI es la reducción de los picos de consumo, ya que cambia el concepto actual de "mantener disponible" la potencia (unidades de generación) a cada usuario aun cuando no la esté utilizando. Por existir en la REI información bidireccional consumo-generación, solo estarán en operación las unidades generadoras requeridas en tiempo real. Esto hace a la red más eficiente energéticamente y minimiza la inversión en los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad.

Esta forma de manejar la energía eléctrica pone a disposición de los grandes generadores centralizados potencia instalada en la cual no han realizado ninguna o poca inversión. Además por ser descentralizada la generación se minimizan las pérdidas por transmisión y distribución de electricidad.

2.4 Principales fabricantes e iniciativas por países.

Para el desarrollo de las Redes Eléctricas Inteligentes, se requieren grandes inversiones, donde empresas ajenas al sector eléctrico empiezan a interesarse como: Microsoft, Google, IBM, General Electric, Oracle, Siemens, etc., quienes realizan investigación y desarrollo de equipos acordes con el principio de la REI. En otras palabras, replicar los conocimientos y operatividad de la red cibernética de información en una gran red eléctrica de productores, distribuidores y consumidores que maximice la eficiencia energética en todos los niveles.

Entre las firmas líderes están las eléctricas españolas más importantes, especialmente Iberdrola, Gas Natural Fenosa, Endesa, EDP Energía y EON.

Enel, la compañía eléctrica más importante de Italia, ya hace doce años desarrolló la, hasta ahora, primera y más grande red inteligente del mundo. Más de la mitad de los hogares italianos está equipado con los llamados "medidores inteligentes" de Enel. El medidor digital de electricidad, mide el consumo individual. Además, tiene la capacidad de encender, por ejemplo, la lavadora o la secadora de ropa en el momento en que el flujo de electricidad de la red es mayor y por lo tanto, el costo de la corriente es menor. En los últimos años se han lanzado otros proyectos de redes inteligentes en Portugal, Alemania, EE.UU. y Holanda.

China ha anunciado 22 criterios para la tecnología de REI, que abarcan la generación de energía, transmisión inteligente, subestaciones, distribución, utilización y despacho. El anuncio también incluye una inversión de 3250 millones de euros para 228 proyectos piloto de REI.

State Grid Corporation de China ha centrado su visión de la REI en el desarrollo de una Red "Dinámica e Inteligente" sobre la base de una Red de Ultra Alta Tensión (Ultra High Voltage UHV) para:

- Optimizar la asignación de recursos energéticos.
- Mejorar el acceso a la energía renovable.
- Satisfacer el crecimiento de la demanda de energía.

En un grupo importante de países europeos (España, Holanda, Italia y otros), se ha logrado un avance muy importante en la estandarización del AMI

(Infraestructura de Medición Avanzada) por medio de PRIME. Esta Alianza entre fabricantes de equipos de medición y comunicaciones, se centra en el desarrollo de una nueva solución de telecomunicaciones abierta, pública y no propietaria, que favorece no sólo las funcionalidades de medición inteligente, sino también su progreso. En la figura 13 se observa cómo conviven en el mismo panel de un edificio, equipos de medición y comunicación de distintos fabricantes. [21]



Figura 13: Equipos de medición y comunicación en un panel.

Diferentes regiones y países en el mundo han entrado en conciencia con respecto a la importancia de Smart Grid en cuanto a la eficiencia y calentamiento global. En este apartado se mencionan algunas de las potencias que están implementando Smart Grid. [23]

Estados Unidos: el apoyo a Smart Grid se volvió una política federal con la aprobación de una ley a partir del acto: “Energy Independence and Security Act” en el 2007, el cual establece un insumo de 100 millones de dólares por año, así como un programa para promover Smart Grid entre consumidores y proveedores.

Luego el presidente Barack Obama, en su administración dedica 3.4 billones de dólares para Smart Grid.

Canadá: El gobierno de Ontario tras el acto “Energy Conservation Responsibility Act” en el 2006, establece los inicios para la implementación de Smart Grid.

China: este país está implementando un sistema de monitores de área ancha (WAMS), y pretende implementar gradualmente sensores PMU. Debido a que el estado controla la generación y la transmisión, los estándares se establecen rápidamente y se está implementando una red de comunicación privada para Smart Grid.

Corea: su gobierno ha lanzado un programa con una inversión de 65 millones de dólares, el cual consiste en la integración total de Smart Grid para 6000 clientes. Corea espera reducir su consumo de energía en un 3%, y para el 2030 en un 10% con la implementación total de Smart Grid a lo largo de toda la nación.

Australia: su gobierno dedicó 100 millones de dólares en investigación de Smart Grid, con el objetivo de crear conciencia en los clientes y establecer mecanismos de gestión de la generación y distribución de la energía. [24]

Unión Europea: Existe una iniciativa desde el 2005 llamada “European Technology Platform”, esperan tener resultados, y conclusión del programa para el 2020.[8]

Un ejemplo es el proyecto Ámsterdam Smart City que involucra a las empresas, el gobierno y el público en general para lograr crear un sistema de energía ideal desde todos los puntos de vista y cuyos beneficios fluyan tanto para la compañía eléctrica como para cada uno de los usuarios. El programa utiliza una smart grid con contadores inteligentes, tecnologías de edificios inteligentes y vehículos eléctricos para reducir el consumo de energía en los hogares, los edificios, las áreas públicas y el transporte. [25]

Sudeste de Asia: Esta región tiene una de las tasas más altas de crecimiento de demanda de electricidad del mundo. Estas dinámicas de mercado se complementan con la normativa de desarrollo e indican que una importante inversión en la infraestructura de red inteligente se llevará a cabo durante la

próxima década. Esta inversión se estima en un total de 24,6 millones de dólares durante el período 2016-2026.

El sudeste de Asia ofrece una serie de oportunidades de mercado de redes inteligentes muy importantes, países de la región como Singapur, Malasia y Tailandia han desarrollado planes de trabajo de redes inteligentes y están desarrollando regulaciones para estimular las implementaciones. Indonesia entrará más adelante en el desarrollo de su red, teniendo uno de los mercados de medición más grandes del mundo. Entre los países líderes, Malasia tiene previsto utilizar más de 8 millones de contadores inteligentes antes de 2021, Singapur comenzará probablemente un despliegue en el segmento residencial en 2017-2018 y Tailandia con más de un millón de contadores inteligentes. Incluso países frontera de la región están llevando a cabo inversiones de redes inteligentes. Por ejemplo, Laos y Vietnam han recibido financiación del Banco Mundial para implementar medidores inteligentes y automatización de la distribución para mejorar sectores de poder de los países.

América Latina y el Caribe: La iniciativa de redes inteligentes en los países de la región de América Latina y el Caribe (ALC) hasta el momento se basa en el intercambio de conocimientos y experiencias a través de talleres y foros con el apoyo de organizaciones internacionales como el BID, la AIE y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Aunque muchos países de la región de ALC todavía están considerando las tecnologías de redes inteligentes y buscando recursos, algunos ya han comenzado a adoptarlas. Brasil, Ecuador y México ya están implementando redes inteligentes en proyectos piloto, mientras que Colombia y Uruguay están trabajando en sus hojas de ruta de redes inteligentes. En Chile y Honduras también se ha comenzado con las iniciativas de Smart grids con la instalación de contadores inteligentes.

En un grupo importante de países europeos (España, Holanda, Italia y otros), se ha logrado un avance muy importante en la estandarización del AMI por medio de PRIME (*PowerLine Intelligent Metering Evolution*). Esta Alianza entre fabricantes de equipos de medición y comunicaciones, se centra en el desarrollo de una

nueva solución de telecomunicaciones abierta, pública y no propietaria, que favorece no sólo las funcionalidades de medición inteligente, sino también su progreso.[21]

Conclusiones parciales.

El sistema eléctrico del futuro con redes eléctricas inteligentes se caracterizará por ser un sistema muy flexible, reconfigurable y conectado, que optimizará los recursos energéticos. Se trata pues de una red en la que fluirá bidireccionalmente tanto la electricidad como la información, estos avances, permiten que la corriente eléctrica fluya dónde y cuándo sea necesario, lo que mejora la eficiencia del sistema. La red eléctrica inteligente abrirá la posibilidad de diversificación de la matriz energética en muchos países al permitir la inserción, en la red de generación distribuida y las energías renovables. A nivel mundial, existen multitud de iniciativas y proyectos para la instalación de redes eléctricas inteligentes, dándose los primeros pasos en América Latina y Cuba no puede estar al margen.

CAPÍTULO 3: Principales aspectos y tecnologías a considerar en las redes eléctricas inteligentes.

Introducción.

Las tecnologías que afectan a las redes inteligentes son aquellas que intentan optimizar y racionalizar la gestión de la demanda de electricidad. Los apartados de este capítulo profundizan en varios aspectos desde los contadores y edificios inteligentes hasta los vehículos eléctricos, basados que en la actualidad los escenarios donde los seres humanos actúan son del tipo inteligente, lo que quiere decir que están dotados de un sin número de funciones para su bienestar.

3.1 Contadores inteligentes.

Una red inteligente está basada entre otras cosas, en el uso de medidores, controladores, sensores y software los cuales permiten automatizar el sistema eléctrico de distribución a través del monitoreo y supervisión de los consumos de energía, además de otras variables relacionadas con la distribución de electricidad como: potencia, voltaje, corriente, etc. permitiéndole controlar y gerenciar en tiempo real la facturación y la demanda de energía.

El contador es el elemento principal del concepto AMI (Infraestructura de Medición Avanzada) ya que es la interfaz entre el cliente y el sistema de telegestión. Aparte de la precisión, fiabilidad y robustez que tradicionalmente se han requerido de estos equipos, es preciso dotarles de una comunicación fiable hacia los concentradores y hacia el usuario. Se utiliza la tecnología PLC (Power Line Carrier o Power Line Communication) a través de la red, utilizando estándares abiertos, de dominio público e interoperables. Esta tecnología garantiza una total interoperabilidad entre los equipos de los fabricantes que lo soportan.

La información sobre el consumo permite conocer cómo se utiliza la energía dentro del hogar o negocio, cuánto cuesta y cuál es el impacto ambiental que esto representa.[8]

Un contador inteligente es un tipo de contador que, aparte de medir el consumo de una forma más detallada, puede aportar más funcionalidades o servicios que los

contadores convencionales. Según las funcionalidades o servicios que aporte se dividen los contadores inteligentes en dos grandes grupos: AMR y AMI. [26]

3.1.1 Definición y componentes

El Smart Meter (Contador Inteligente) incluye como mínimo los siguientes suplementos, control de energía mediante ICP programable que establece el límite de consumo, un puerto HAN (Home Area Network) y servicios de tarificación bajo demanda. La estructura general del contador mantiene los tres elementos principales como son el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal, que hasta ahora solo era el sistema de comunicaciones.[2] Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los elementos complementarios siguientes: [27]

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de cálculo.
- Procesador de comunicaciones.
- Dispositivo de accionamiento o control.

Los contadores AMR (Automatic Meter Reading) hacen referencia a los contadores habilitados para la telemedida. En este tipo de contadores, el contador es un elemento pasivo con comunicación unidireccional, que solo permite leer la energía de manera remota a la compañía distribuidora y/o comercializadora, quien puede utilizar los datos a efectos de facturación o seguimiento.

En cambio, los contadores AMI (Advanced Metering Infrastructure) también están habilitados para realizar tareas de telegestión. En este caso, el contador puede ser leído y gestionado de manera remota mediante una comunicación bidireccional.

Con el uso de estos nuevos contadores, se permite la creación de nuevos servicios como la gestión de usuarios, la gestión activa de la demanda, la conexión y desconexión remota, el control sobre generación distribuida o la monitorización de la calidad de onda. Es por esta razón que el despliegue de los contadores inteligentes se considera en muchos casos como el primer paso esencial hacia la implantación de las smart grids. [28]

Los medidores inteligentes constituye el corazón de la Smart Grids y

sus componentes se describen a continuación:

- La metrología que convierte señales de voltaje y corriente en valores de energía vía pulsos o valores incrementales.
- Los registros que constituyen el cerebro del contador e incluyen la lógica y funcionalidades por medio de las cuales los valores de energía se convierten a valores de facturación.
- Las comunicaciones que son el método utilizado para transmitir la información de regreso a las oficinas de la empresa.

Para ampliar las capacidades operativas de los contadores inteligentes se les añade elementos complementarios como: sistemas de alimentación, procesador de cálculo, procesador de comunicaciones, dispositivos de control, etc.

3.1.2 Tipos de contadores inteligentes

La inteligencia de los contadores depende de la distribución de sus componentes principales: metrología, registros y sistema de comunicaciones.



Figura 14: Medidores inteligentes

Contadores tipo A

Tienen los registros y la metrología incluidos en el medidor, mientras que el sistema de comunicación está en un módulo aparte; son los de mayor inteligencia y se caracterizan por tener:

- Sistemas de comunicaciones independientes e intercambiables que transportan pero no crean datos de registro.

- La metrología y registros son compatibles con los medidores tradicionales.
- Los datos de registro son directamente trazables de regreso al medidor.
- El medidor cuenta con datos históricos que ayudan a resolver reclamos.

Contadores tipo B

Tienen los registros y el sistema de comunicación incluidos en un módulo independiente del medidor y sus principales características son:

- Utilizan un medidor básico que únicamente da salidas de pulsos de kWh (el medidor en si no es muy “inteligente”).
- La lógica y funcionalidad del registro están integradas en el módulo de comunicaciones.
- Crean dependencia en la confiabilidad de la conexión entre el módulo de comunicación y el medidor; pueden generar error aún si la metrología es 100% precisa.
- La información de facturación no puede ser trazable con la metrología.

Contadores tipo C

Realizan los registros en la red de comunicación y se caracterizan de la siguiente manera:

- Los registros de facturación se realizan en algún punto de la red de comunicación.
- No existe auditabilidad o trazabilidad con la metrología.
- La confiabilidad de las comunicaciones tiene un impacto importante en la precisión de los datos de facturación con referencia de tiempo.

Al momento de escoger el tipo de contador inteligente a utilizar se debe tomar en cuenta la trazabilidad de los datos de facturación, la capacidad de hacer pruebas (con y sin comunicación), la factibilidad de soportar estándares de seguridad (encriptación) en los datos y adaptarse a futuras tecnologías de comunicación.[25]

3.1.3 Beneficios de los contadores inteligentes

Las principales ventajas de los contadores inteligentes para el distribuidor van asociadas al incremento de la eficiencia de la línea y al ahorro energético, reduciendo los costes de operación y de detección de averías en la red. Además, permiten realizar cambios de la potencia contratada remotamente, en la modalidad de discriminación horaria, en las altas y bajas, o incluso detectar un fraude. Por parte de los consumidores, el acceso a toda esta información debe permitirles ser más eficientes y ahorrar en su facturación.

Beneficios y ventajas para el usuario:

- Lectura y facturación exactas y en plazo.
- Mejor información sobre la energía consumida favoreciendo el ahorro y la eficiencia.
- Nuevo modelo de relación con comunicación bidireccional con el cliente. Permite servicios de valor añadido.
- Flexibilidad ante cambios regulatorios.
- Más eficiencia y calidad en las operaciones comerciales. Cero molestias. Inmediatez.
- Con adecuado control de potencia además del ICP.
- Contribuye a una mejor gestión de la demanda: con la reducción de pérdidas y la optimización de activos.
- Permite una mejor planificación y desarrollo de la red.
- Posibilita el desarrollo de Redes Inteligentes.
- Mejora la información para avanzar en la eficiencia global del sistema eléctrico.
- Facilita la liberalización del mercado al simplificar el cambio de comercializadora.
- Mayor ahorro y eficiencia energética

La implementación de dispositivos inteligentes en los sistemas eléctricos es prácticamente el primer paso para transformar el sistema actual en una red

eficiente capaz de responder a las adversidades que se les puedan presentar de manera autosuficiente.

El medidor inteligente es un componente importante de la red inteligente. Los dispositivos digitales muestran al cliente su consumo de energía y el tiempo de uso de la misma. Con el incremento en la demanda por medidores con características avanzadas y herramientas para la administración inteligente de la energía, es aparente que los medidores de hoy y mañana no serán simplemente considerados para mediciones básicas de energía sino que estarán en el corazón de un completo centro de control de transmisión y distribución de energía eléctrica, permitiendo procesos inteligentes como acciones remotas de desconexión y reconexión en el sistema. Estas características ayudarán a las compañías distribuidoras a manejar y controlar mejor las instalaciones y recursos energéticos a través de convertir información en conocimiento en orden de mejorar la confiabilidad y productividad.

3.2 Edificios inteligentes.

La implantación de las redes inteligentes modificará la organización eléctrica tanto en el extrarradio como en el propio núcleo urbano; actualmente, únicamente se conocía el sistema de generación directo desde la central productora, es decir, alejado a una distancia considerable de las urbes se hallaba la empresa generadora independientemente de su sistema de generación, y era desde ese punto, del que partía la energía eléctrica a un gran voltaje para minimizar pérdidas, pasando por los centros de transformación pertinentes, reduciendo su tensión lo necesario, para acabar siendo utilizada en el punto de consumo correspondiente. Pero con el nuevo sistema que se propone de Smart Grids, el abastecimiento a los distintos consumidores se verá modificado considerablemente.

Además de los distintos sistemas para generar electricidad, deberán tenerse en cuenta el planeamiento de espacios para la ubicación de los distintos sistemas de almacenamiento para poder cubrir la demanda en las horas en que el sistema puede encontrarse con una sobredemanda (horas pico).

En la sociedad digital cada dimensión de nuestra existencia está repleta de dispositivos digitales. La vivienda promedio de clase media contiene una veintena de microprocesadores “empotrados” en dispositivos. El reto de la infraestructura eléctrica en la Sociedad Digital es que quede como una reliquia del siglo XX o reconvertirla para que sea la infraestructura básica que soporte la sociedad digital del siglo XXI. [14]

La instalación de una vivienda inteligente, proporciona un sinnúmero de beneficios y ventajas inalcanzables con respecto a otra tradicional, fundamentalmente desde diversos puntos de vista como lo son: la seguridad, la comodidad, el ahorro energético, la protección al medio ambiente y el confort; pero sin duda estas cinco propiedades mencionadas se reducen a una sola que es común denominador en la sociedad: mejorar la calidad de vida. Las viviendas inteligentes son también conocidas con el nombre de smart house.

La Infraestructura de medición inteligente que se muestra en el anexo 2, representa que además de los distintos sistemas para generar electricidad, deberán tenerse en cuenta el planeamiento de espacios para la ubicación de los distintos sistemas de almacenamiento para poder cubrir la demanda en las horas en que el sistema puede encontrarse con una sobredemanda (horas pico).[29]

Ante esta situación de profundo cambio en las redes eléctricas, aparece un nuevo paradigma relacionado con la generación y almacenamiento de energía, el balance neto; que no es más, que un nuevo sistema por el que los clientes o usuarios de una la red eléctrica pueda generar y almacenar su propia energía eléctrica, modificando el planteamiento actual sobre lo que era y cómo se gestionaba la energía, además de las nuevas edificaciones o núcleos urbanizados al hacer partícipe, con gran entidad al citado consumidor, siendo un pequeño administrador de su propia energía.

Las principales aplicaciones de la inteligencia del hogar están relacionados con:

- . Control y gestión de la energía.
- . Control local y remoto de la iluminación en la vivienda.
- . Iluminación por detección de presencia.
- . Automatización de persianas y toldos.

- . Acceso electrónico al hogar (tele vigilancia en seguridad)
- . Control y monitoreo de alarmas técnicas como detección de fugas de agua, gas, humo.
- . Sistemas de mensajería si algo sucede en el hogar.
- . Realización de acciones preventivas automáticas: cierre de persianas, corte de la energía, entre otros.
- . Climatización (Control del aire acondicionado para regular la temperatura dentro de la vivienda).
- . Control y diagnóstico de electrodomésticos y ahorro de energía.
- . Encendido y apagado remoto de electrodomésticos.

3.3 Integración del vehículo eléctrico.

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.

Una de las mayores limitaciones actuales en el automóvil eléctrico para la generalización de los vehículos eléctricos es el costo 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.

Para los vehículos eléctricos son barrera los costos y la infraestructura para puntos de carga. La plataforma debe permitir la 'portabilidad' del servicio (puntos de carga 'inteligentes' que integren el consumo a la cuenta del usuario, se debe

adecuar la infraestructura para no afectar la calidad del servicio y la medición por ser bidireccional: el vehículo se puede utilizar como 'punto de generación' en períodos punta. El servicio tiene la característica de ser portable, es decir que identifica al usuario en el punto donde se conecte, sin trasladar el equipo de medida.

La penetración masiva del vehículo eléctrico se espera en Europa hasta el 2030, al masificar su utilización se debe tener en cuenta que su recarga genera una demanda importante sobre el sistema eléctrico, por ello para aprovechar su introducción se requiere flexibilidad en los modos de recarga y adecuada gestión de carga en función de la disponibilidad de generación renovable. Un mayor aporte del vehículo eléctrico a las redes inteligentes se consigue al utilizar su batería como medio de almacenamiento remoto para su posterior inyección de energía a la red en momentos específicos de alta demanda.

Los vehículos que usan motor de combustión interna tienen un rendimiento entre el 15 y 20 %, mientras que los vehículos eléctricos se destacan por su alto rendimiento al transformar la energía eléctrica en mecánica (entre el 60 y 85 %). La base del vehículo eléctrico es la batería de ion de litio que actualmente brinda una autonomía de 150 km con un consumo promedio de 13,78 kWh por cada 100 km.[30]

3.3.1 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. [31]

3.3.2 Vehículos híbridos enchufables (PHEV).

La evolución de los sistemas de baterías híbridos permitirá 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.

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. [31]

3.3.3 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.

Los vehículos eléctricos serán una importante fuente de generación distribuida en el futuro, los cuales entregarán energía de su batería a la red de suministro de electricidad cuando se necesite.[32]

Conclusiones parciales.

Smart Grid es la mejor solución al mejor aprovechamiento y eficacia de la distribución de la energía eléctrica, es integrado y actúa en conjunto con las diferentes opciones actuales y futuras para el manejo inteligente de la energía eléctrica. Smart Grid cambia el modelo tradicional, hacia una economía más participativa y descentralizada, e impulsa nuevos productos, servicios y mercados, e involucra al consumidor y promueve su participación en la respuesta a la demanda.

Las tecnologías prioritarias detectadas en el campo de las Smart Grid se pueden englobar en las aéreas de los contadores inteligentes, la infraestructura de los edificios inteligentes, los sensores, las tecnologías avanzadas de transporte, los sistemas de almacenamiento y los vehículos eléctricos. La aplicación de estos equipos y sistemas inteligentes facilita a las redes y a los consumidores un acceso más directo a los beneficios vinculados con dichas tecnologías.

CONCLUSIONES GENERALES

En el país las redes eléctricas experimentan una diversificación de la matriz energética, dándole prioridad a la generación distribuida a partir de combustibles fósiles o de fuentes renovables de energía entre las que se destacan la eólica, la hidráulica y la fotovoltaica. El polo turístico Cayo Santa María, es un sistema aislado del SEN, su generación tiene diferentes tecnologías (MTU, Hyundai y MAN) controladas desde una *subestación que posee equipos de comunicación para monitorear los tres sistemas de grupos electrógenos y conocer el estado de cargabilidad de los circuitos*, estas características son óptimas para la instalación de redes eléctricas inteligentes.

El diagnóstico permite determinar entre las potencialidades para la transición de las redes convencionales hacia las redes eléctricas inteligentes la existencia de generación distribuida y energías renovables en las redes eléctricas, y las necesidades la instalación de contadores inteligentes junto con la participación activa de la demanda y la mejora de la calidad del servicio de suministro eléctrico.

Los referentes teóricos sobre las redes eléctricas inteligentes muestran que controlan, informan, comunican, integran tecnologías y optimizan el uso de la energía. Entre sus funciones más novedosas se encuentra la gestión de los consumos energéticos, reduciendo los picos de consumo y llenando los valles, cambia el concepto actual de "mantener disponible" la potencia a cada usuario, aun cuando no la esté utilizando. El mayor beneficio será la interoperabilidad y la información bidireccional consumo-generación que abrirá a la innovación cada aspecto de la generación, transmisión, distribución y uso de la energía eléctrica.

Las tecnologías de las redes eléctricas inteligentes impulsan nuevas tecnologías como los contadores inteligentes, los vehículos eléctricos que serán una importante fuente de generación distribuida en el futuro y los edificios inteligentes cuya razón principal es la mejora de la calidad de vida, y otras tecnologías donde empresas ajenas al sector eléctrico empiezan a interesarse como Microsoft, Google, General Electric, Oracle, Siemens entre otras.

RECOMENDACIONES

Para la Universidad

- Formación de capacidades humanas capaces de asimilar los cambios tecnológicos actuales y dar respuestas y soluciones acertadas
- Apoyar nuevos programas de educación y favorecer la integración en los programas existentes de temáticas relacionadas con las redes eléctricas inteligentes.

Para las Empresas Eléctricas

- Identificar tecnologías claves para el sector y generar guías que sirvan para obtener el conocimiento básico de las mismas y poder iniciar el desarrollo de cambios innovadores para ellas.
- Con el desarrollo de las energías renovables de forma paralela, tener siempre en cuenta los conceptos de Smart Grids a la hora de realizar cualquier tipo de investigación o desarrollo relacionado con la evolución de la red eléctrica.
- Realizar inversiones y subvencionar la investigación y el desarrollo en líneas como almacenamiento eléctrico, telecomunicaciones, eficiencia energética, sistemas automatizados, nuevas técnicas de control inteligente, vehículo eléctrico, etc.

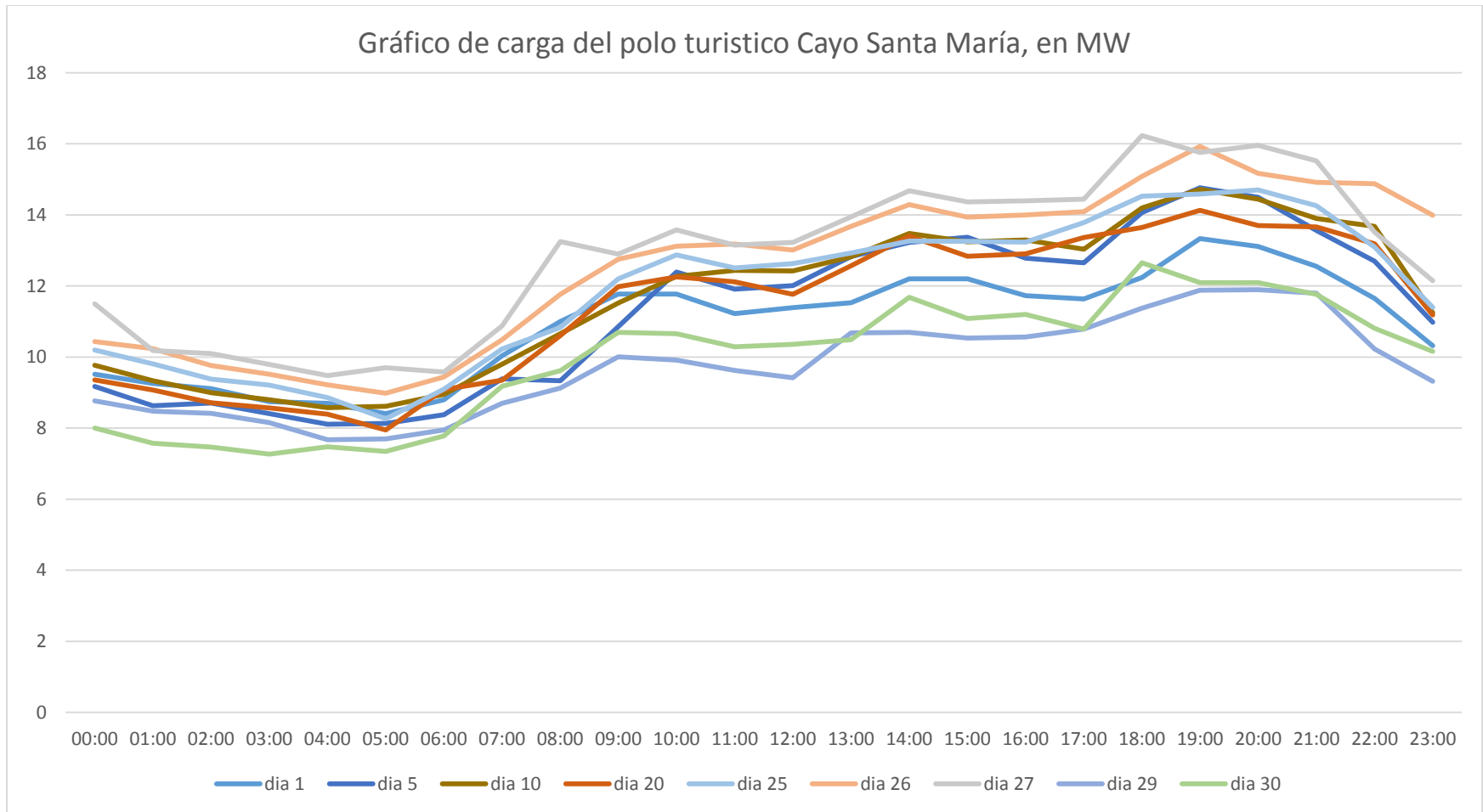
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. M. H. Villamar, "Generación eléctrica distribuida con energías renovables," 1999.
- [2] S. Grids, "la Evolución de la Red Eléctrica," *Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. Fedit Grupo Tecnológico de España*, 2011.
- [3] F. A. T. Christian Arturo Calderón, "Propuesta de diseño de un modelo Smart Grid para las empresas eléctricas de distribución ecuatorianas," *Facultat de Ingeniería Eléctrica, Politécnica Salesiana*, 2012.
- [4] ABB, "Gráfico Informativo por qué redes inteligentes," ed, 2012.
- [5] C. J. R. G. Sarduy and C. P. R. V. Felipe, "La universidad en la transformación hacia las redes eléctricas inteligentes en América Latina," *Universidad y Sociedad*, vol. 6, 2014.
- [6] L. F. Beites, "Generación distribuida:¿ la generación del futuro?," *Depto. Ingeniería Eléctrica. ETSII UPM septiembre/octubre*, 2001.
- [7] D.-I. P. E. Mercado, "Generación distribuida de electricidad, situación y desarrollos," presented at the *Desarrollo y difusión de la generación distribuida con sistemas fotovoltaicos conectados a la red*, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, noviembre de 2009.
- [8] J. Lorente de la Rubia, "Estudio sobre el estado actual de las" Smart Grids"," 2011.
- [9] D. Y. L. Albuérne, "La generación distribuida y sus beneficios en Cuba.," presented at the *V TALLER EFESOS*, Barcelona, Octubre de 2010.
- [10] O. N. d. E. e. Información, "ELECTRICIDAD EN CUBA. INDICADORES SELECCIONADOS," S. y. M. A. Centro de Gestión de la Información Económica, Ed., ed, Febrero de 2015.
- [11] A. F. V. Delgado, "Empleo de fuentes renovables de energía en Cuba," *II Congreso iberoamericano sobre microrredes con generación distribuida de renovables*, 2012.
- [12] F. G. J. Llanes, J.M. Torres, "LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN CAYO SANTA MARÍA (CUBA)," vol. LXXX-9, pp. 45-48, DICIEMBRE 2005.
- [13] E. y. Sociedad. (marzo 2010). *Smartgrid redes electricas inteligentes*. Available: www.energiaysociedad.es
- [14] M. Hernández, "Inteligencia en la Red Eléctrica," *Jornada sobre Redes Eléctricas Inteligentes, Electrificación del Transporte e Integración de Energías Renovables (febrero 2010, Las Palmas de Gran Canaria, España)*, Universidad de las Palmas de Gran Canarias, 2010.
- [15] G. P. Carrera, "EVOLUCIÓN Y DESAFÍOS EN EL SECTOR ELÉCTRICO," *XXIV Seminario Internacional - "Tecnología y Regulación del Mercado Energético II"*, 2013.
- [16] E. Velasco-Ramírez, C. Ángeles-Camacho, and M. García-Martínez, "Redes de transmisión inteligente: Beneficios y riesgos," *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 14, pp. 81-88, 2013.

- [17] U. Á. P. Castro Legarza, Eloy, "Redes de distribución eléctrica del futuro: Un análisis para su desarrollo," Cátedra de Energía, Instituto Vasco de Competitividad, Noviembre de 2013.
- [18] I. F. Quintanar, "VENTAJAS Y REQUISITOS DE LAS REDES INTELIGENTES," presented at the 2do Congreso Regional de Energía, SAN SALVADOR, AGOSTO DE 2015.
- [19] A. G. P. Sevilla and F. O. A. Fernández, "Evolución de las redes eléctricas hacia Smart Grid en países de la Región Andina," *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 8, pp. 48-61, 2013.
- [20] J. I. C. Cruz, "Smart Grid (Redes Inteligentes)," *I Congreso Regional de Electricidad Limpia* 2011.
- [21] J. Sáenz, J. Salerno, I. Arraña, E. Marino, P. Bertinat, J. Chemes, *et al.*, "REDES INTELIGENTES. ESTADO ACTUAL Y SU INFLUENCIA EN EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. PLANTEO DE UN CASO PILOTO EN ARGENTINA."
- [22] I. E. D. L. F. PARA and E. Y. A. LA SOSTENIBILIDAD, "Smart Grids: Sectores y actividades clave."
- [23] Y. L. Albuérne, "La generación distribuida y sus beneficios en Cuba," *V TALLER EFESOS*, 2010.
- [24] E. L. López, "SMART GRID: UNA RED ELECTRICA INTELIGENTE," ed: Costa Rica, 2010.
- [25] M. V. Herrera García, "Descripción de redes inteligentes (Smart Grids) y su aplicación en los sistema de distribución eléctrica," QUITO/EPN/2013, 2013.
- [26] H. Peña, "SEMINARIO DE REDES INTELIGENTES."
- [27] M. V. G. Gonzalez, "Integración de Energías Renovables en Redes Eléctricas Inteligentes," Doctoral, Ingeniería Civil, Alicante, 2013.
- [28] A. G. P. S. F. Amaya-Fernández, "EVOLUCIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS HACIA SMART GRID EN PAÍSES DE LA REGIÓN ANDINA," *Educación en Ingeniería*, vol. 8, 2013.
- [29] F. J. C. Carrasco and P. T. Avinent, "Edificación y smart grids: Factores a tener en cuenta," *3C Tecnología*, vol. 4, pp. 54-66, 2015.
- [30] Y. Lee, J. R. Paredes, and S. H. Lee, "Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles: RG-T2058," Inter-American Development Bank 2012.
- [31] I. D. G. G. Barajas, "INTEGRACIÓN Y GESTIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE REDES INTELIGENTES," MÁSTER, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [32] E. Inga and J. Rodríguez, "Estretegias de negocio para medición inteligente acoplado energías renovables," *Prim. Congr. Int. y Expo Científica: Investigación Sostenible: Energías Renovables y Eficiencia Energética*, pp. 281-291, 2013.

ANEXOS

Anexo 1: Curvas de consumo Cayo Santa María



Anexo 2: Infraestructura de medición inteligente

