

Fuentes de Energía Distribuida Tecnologías Disponibles

Francisco M. Gonzáles-Longatt ^(*), *Profesor Asistente*

Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada
Maracay, Venezuela, +58 (414) 590-6651, +58 (243) 5546954, Fax: , +58 (243) 5546954
felongatt@hotmail.com

^(*) Actualmente está de permiso completando el Doctorado en Ingeniería en la Universidad Central de Venezuela
Caracas Venezuela, +58 (212) 6053231, felongatt@elecisc.ing.ucv.ve

Abstract- This paper presents a summary of distributed energy resources technologies available to assure a reliable and economic electric service on the new paradigm of electrical power system. The growth of electrical markets, development of the financial market and, the accelerate technical progress; they have made possible that the ideal size of the new investments in the generation diminishes in relation with the size of the market. On the other hand, the pressures global environmentalists with the improvement in the technologies of materials they have done that sources of energy that in the past were only ideas, transform actually in very competitive and more profitable than the traditional sources. The photovoltaic (PV) systems abound in number almost comparable to that of engines reciprocant, that with gas fueled are fewer pollutants. The wind systems, already they compete in costs and efficiency with the traditional systems and in the underdeveloped countries it has transformed in a good alternative. Finally, storage systems and the fuel cell still even in research and development stage, but they represent serious alternatives that will do of the distributed generation a great proportion of the overall electricity generation on medium term.

Index Term- Distributed Generation, Distributed Energy Resources, Distributed Energy Technologies

I. INTRODUCCIÓN

Hoy día, se tienen sistemas eléctricos de potencia (SEP) cuya conformación es el resultado de una concepción tradicional que ha sido existente por más de cincuenta años: grandes plantas de generación, generalmente ubicadas lejos de la ubicación del centro de demanda y, grandes redes de transmisión que llevan la potencia generada hasta los sitios de consumo [1]. El modelo tradicional de los SEP se sustentó en esencia, de las economías de escala en el área de la generación y el hecho de que su cantidad ha sido de tal tamaño que sobrepasa los gastos de inversión de transmisión. Esto ha provocado la formación de monopolios naturales con envergaduras que solo financiables por los gobiernos [2]. El crecimiento del mercado eléctrico, el desarrollo del mercado financiero y, el acelerado progreso técnico; han hecho posible que el tamaño óptimo de las inversiones nuevas en la generación disminuya en relación con el tamaño del mercado y a la capacidad financiera privada. De igual modo los procesos de desregulación, que han aparecido en el mundo entero, han hecho posible la competencia en el sector de la generación [3]. Todos estos factores, pero en particular los desarrollos tecnológicos, han permitido un cambio en el paradigma del sector de generación. Hasta 1980 el costo mínimo de una planta de generación era obtenido aumentando la potencia instalada en MW, pero hacia el año 1990 un cambio en este medio fue producido, debido a que se obtuvo un punto sumamente bueno de costo con mucho menos potencia

instalada [3]. En la actualidad se disponen de tecnologías que permiten la generación de electricidad, empleando plantas clasificadas como relativamente pequeñas comparada con la generación convencional, y sus costos son más bajos por cada MW generado. De modo, que la relación eficacia-que dictaba en el pasado la economía de escala de los sistemas de generación, desapareció, siendo el nacimiento de la *generación distribuida (DG: Distributed Generation)*. Las fuentes de energía distribuida (FED, DER, *distributed energy resources*) se refieren a una variedad de tecnologías pequeñas, modulares para la generación de potencia que pueden ser combinadas con sistemas de administración y almacenamiento de electricidad para mejorar la operación del suministro de electricidad, pudiendo estas tecnologías estar o no conectadas a la red eléctrica.

La aplicación de las FED envuelve la localización de generadores de electricidad cerca del punto en el cual la electricidad es consumida. De modo que el modelo tradicional ha comenzado a cambiar con un nuevo paradigma en el cual los generadores son distribuidos a lo largo de la red. Las tecnologías FED consisten primariamente de sistemas de generación de energía y almacenamiento de energía, que suministran a los consumidores, confiabilidad, adecuada calidad de servicio y la posibilidad de participar en mercados eléctricos competitivos. Permiten mitigar con la congestión de las líneas de transmisión, controlar las fluctuaciones de precios, aumentar la seguridad energética, y proveer una mayor estabilidad a la red de electricidad. Además el uso de tecnologías FED puede ayudar a reducir las emisiones contaminantes, particularmente en aplicaciones de potencia y calor combinado (*combined head and power CHP*), para aumentar la eficiencia. La energía distribuida enfatiza un rango de tecnologías incluyendo las celdas de combustibles (*fuel cells*), microturbinas, motores reciprocantes, reducción de carga y otras tecnologías de gerencia de energía (*energy management*). Las FED también involucran los dispositivos interfaces de electrónica de potencia, también dispositivos de control y comunicaciones para la operación y despacho eficiente de una unidad de generación, y los paquetes de sistemas múltiples y bloques agregados de potencia. La fuente primaria en la mayoría de los sistemas de generación distribuida es el gas natural, pero el hidrogeno jugará un rol importante en el futuro. Las tecnologías renovables (*Renewable Energy Technologies*) –tales como electricidad solar, edificios solares, energía de biomasa, y turbinas de viento (*wind turbines*)- son también populares.

II. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Las fuentes de energía distribuida han estado disponibles desde hace algunos años. Estas pueden ser reconocidas con diferentes nombres como generadores, generadores de respaldo (*back-up generators*), o generación en sitio (*on-site power*), y ciertas tecnologías de FED no son nuevas (como los motores de combustión interna y las turbinas). Por otra parte, debido a los cambios en la industria de electricidad, algunas nuevas tecnologías están siendo desarrolladas o avanzando hacia la comercialización (por ejemplo: celdas de combustible y las microturbinas).

Tabla 1. Tecnologías de Fuentes Distribuidas de Energía [4]

Tecnologías DER	Comercialmente Disponible	Tecnología Emergente
Microturbinas	X	X
Motores Reciprocantes	X	
Motores Sterling		X
Celdas de Combustible (Fuel Cells)	X	X
Almacenamiento de Energía	X	X
Sistemas Fotovoltaicos	X	
Sistemas Eólicos	X	
Sistemas Híbridos		X

III. MICROTURBINAS

Las microturbinas son pequeñas turbinas de combustión de tamaño aproximado al de un refrigerador con potencia entre 25 kW y 500 kW. Ellas evolucionaron de los turbocargadores de automóviles y camiones, unidades de potencia auxiliar de aviones, y motores de pequeños aeroplanos y están comprendidos por un compresor, combustor, turbina, alternador, recuperador y generador. Un generador de imán permanente en su eje a muy alta velocidad produce una muy alta frecuencia AC, la cual es convertida a DC y de ahí a una señal estándar de 60 Hz por medio de un inversor [6]. Las microturbinas ofrecen un número de ventajas potenciales para la generación de potencia a pequeña escala: un número pequeño de partes móviles, tamaño compacto, peso ligero, gran eficiencia, electricidad de bajo costo, y oportunidad de emplear combustibles de desecho. Además poseen el potencial de ser localizadas en sitios con limitaciones de espacio. La recuperación del calor de desecho puede ser usando con estos sistemas logrando eficiencias tan altas como el 80% [4].

Los materiales avanzados, como la cerámica son algunas de las claves que permiten mejorar las microturbinas. Las ganancias en la eficacia que pueden ser alcanzadas con materiales como la cerámica, permiten un aumento significativo de la temperatura de funcionamiento de motor.

Por su tamaño compacto, costos de inversión relativamente bajos, los esperados costos bajos de operación, los bajos gastos de mantenimiento, y el control automático electrónico, se estima que las microturbinas capturen una parte significativa del mercado de generación distribuida [4].

IV. MOTORES RECIPROCANTES

Los motores reciprocantes, o a pistón, son la más común y técnicamente madura de las tecnologías empleadas en las FED, son también denominados motores de combustión interna (MCI, en inglés *IC: internal combustion*). Los MCI pueden ser clasificados como alta velocidad, media y baja velocidad. Los primeros operan a 1200-3600 rpm, generando la mayor salida por unidad de desplazamiento y posee el más bajo costo de capital pero exhiben la menor eficiencia. Los segundos operan entre 275 y 1000 rpm, poseyendo un alto costo de capital pero muestra una más alta eficiencia. Estos últimos pueden ser diseñados para quemar combustibles de baja calidad y solo son prácticos si hay un gran precio diferencial entre aceite pesado y gas natural, no poseen restricciones ambientales [1]. Los motores reciprocantes están comercialmente disponibles en potencias en un rango de 0.5kW a 6.5 MW pudiendo ser usados en una variedad de aplicaciones, debido a su pequeño tamaño, bajo costo por unidad, y su salida térmica usable. Ellos ofrecen una fácil instalación, proveen confiabilidad, y una muy buena característica de seguimiento de la carga, además de la posibilidad de recuperación de calor [4].

IV.1. APLICACIONES

Esta es la tecnología más comúnmente usada para la generación distribuida; ya que son fabricados en grandes cantidades y económicamente: resultando atractivos para la comercialización. Los motores de combustión interna empleados para aplicaciones generación de potencia distribuida, son comúnmente llamados en inglés *gensets*, siendo sus tamaños desde 5kW hasta más de 7 MW. Los *gensets* son frecuentemente empleados como generación de respaldo (*back-up power*) en aplicaciones industriales, comerciales e industriales. Cuando son usados en combinación con un UPS de 1-5 minutos (*uninterruptible power supply*), el sistema es capaz de suplir si problemas durante una salida del sistema. En suma a esto, los grandes motogeneradores de combustión interna pueden ser usado para carga base (*base-load*), soporte de malla, o aplanado de demanda (*peak shaving*).

IV.2. RENDIMIENTO

Los motores reciprocantes pueden operar con un amplio espectro de combustibles incluyendo el gas natural, diesel, gas de desecho, biogases, etc. Los motores de gran tamaño pueden durar 20-30 años mientras motores más pequeños (<1MW) tienden a tener corta vida útil. Las eficiencias de estos motores esta en un rango entre 25 a 45%. En general los motores diesel son más eficientes que los motores a gas natural, debido a que ellos operan a mayor relación de compresión. En el futuro los

fabricantes apuntan hacia el logro de un mas bajo consumo de combustible y una eficiencia en eje mas alta, 50 a 55% en motores grandes (> 1MW) para el año 2010. En particular, la eficiencia de los motores a gas natural se espera que se mejore y se aproxime al de los motores diesel. Las emisiones descontroladas de NOx de los motores reciprocantes (especialmente motores diesel) son las mas altas de todas las tecnologías FER. Las ratas de emisión para un tipo particular y tamaño de motor, varían de fabricante en fabricante. Similarmente, las tasas de emisión para cada tipo de motor dentro de una línea de productos de un fabricante pueden variar considerablemente desde las más pequeñas a las más grandes unidades en la línea. Las razones de esas variaciones incluyen diferencias en la geometría de la cámara de combustión, elementos de mezcla de aire, relación de aire/combustible, técnicas de combustión (cámaras abiertas versus PC), y el tiempo de ignición, todo de un modelo a otro [1].

Tabla 2. Niveles de Emisión de Motores Reciprocantes Típicos [6]

Emisiones de Motor Reciprocante		
	Gas Natural	Diesel
	Gas de salida, ppmv @15% O ₂	Gas de salida, ppmv @15% O ₂
NOx descontrolada	45-200	450-1,600
NOx con SCR	4-20	45-160
CO descontrolada	140-700	40-140
CO Con catalizador de oxidación	10-70	3-13

Otros elementos relacionados con el rendimiento de los motores reciprocantes incluyen [4]:

- El tiempo de arranque es de 0.5 a 15 minutos.
- Ellos poseen una alta tolerancia para arranques y paradas.
- Comparados con las turbinas de combustión, una cantidad menor de calor remanente puede ser recuperado.
- El rendimiento de los motores esta basado en un elevación de 1500 pies sobre el nivel del mar. Es común una disminución de 2 a 3% por cada 1000 pies adicionales.
- Una disminución de 1-2% por cada 10°F sobre la temperatura de referencia (usualmente 90°F) es común.
- La cabeza y el bloque de los motores de combustión interna son reconstruido luego de alrededor de 8000 horas de operación.
- Los cambios regulares de aceite y filtro son requeridos a 700 – 1000 horas de operación.

IV.3. COSTOS

Los motores reciprocantes de combustión interna son la tecnología tradicional para plantas de emergencia en todo el mundo, ya que poseen el más bajo costo inicial de todas las tecnologías FED. El costo de capital de un conjunto de un generador que usa gas como combustible (*genset*) tiene un

paquete que varía en un rango desde los 300US\$/kW a los 900US\$/kW, dependiendo del tamaño, tipo de combustible, y el tipo de motor. El costo de motor en general (US\$/kW) se incrementa con el tamaño. El costo total de instalación puede ser 50-100% más que el costo del motor mismo. Costos adicionales incluyen los balances de los equipos de la planta, honorarios de instalación, honorarios de la ingeniería, y otros gastos de dueño [1]. El gas natural es usualmente menos costoso que el combustible diesel para el mismo contenido de calor. Si el motor de combustión interna es para ser usado un gran numero de horas por año, el costo total de operar la unidad a gas puede ser mas bajo. El gas natural puede no estar disponible en todas las localizaciones, mientras que el diesel puede ser transportado donde sea. Sin embargo, el motor de diesel tiene una emisiones contaminantes altas, de modo que su uso puede ser restrictivo en algunos lugares con normativas ambientalistas severas. El costo de mantenimiento de un motor combustión interna a gas y de diesel varía entre 0.007-0.015 US\$/kWh y 0.005-0.010 US\$/kWh, receptivamente [4]

IV.4. FORTALEZAS Y DEBILIDADES

Los motores reciprocantes son generalmente menos costosos que las otras tecnologías en competencia. También poseen un tiempo de arranque tan bajo como diez segundos, comparados con las tecnologías emergentes que pueden tomar horas para alcanzar la operación en régimen permanente. A través de los años y los avances de tecnología, los motores reciprocantes han alcanzado un aumento de la eficiencia de entre 20 y 30%. Hoy en día los más avanzados motores de combustión interna que emplean gas poseen una eficiencia eléctrica cercana al 45%.

Tabla 3. Fortalezas y Debilidades de los motores reciprocantes [4]

Motores Reciprocantes	
Fortalezas	Debilidades
Bajo costo de capital	Emisiones atmosféricas
Buena eficiencia eléctrica (tan alta como 45%)	Ruidoso
Rápido arranque	Frecuentes intervalos de mantenimiento
Flexibilidad de combustible	
Alta confiabilidad	
Requiere una baja presión de gas	

V. CELDAS DE COMBUSTIBLE (FUEL CELLS)

Una celda de combustible es un equipo de conversión electromecánica que convierte el hidrogeno y el oxigeno en electricidad y calor. Esta consiste de dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separado por un electrolito [5]. La diferencia principal entre la mayor parte células de combustible es el tipo de electrolito: siendo los típicos: ácido fosfórico, carbonato fundido, el óxido sólido, y la membrana de intercambio [7]

Ácido Fosfórico (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cells). Son generalmente consideradas la primera generación de la tecnología. Esas celdas de combustible operan alrededor de los 200°C (400°F) y alcanzan una eficiencia de combustible-electricidad de 40 a 45 en una base de calor de bajo valor (*LHV lower heating value*) [7].

Carbonato Fundido (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cells). Esta tecnología posee el potencial para alcanzar una eficiencia de electricidad-combustible de 50 a 60 % LHV. La temperatura de operación es de alrededor de 650°C (1200°F), lo cual permiten una eficiencia mayor al 85% LHV en aplicaciones de ciclo combinado. Las MCFC han sido operados con hidrogeno, monóxido de carbono, gas natural, propano, gas asociado, diesel marino, y productos de gasificación de carbón [7].

Oxido Sólido (SOFC: Solid Oxide Fuel Cells). Estas celdas operan a una temperatura de hasta 1000°C (1800°F), la cual incrementa el rendimiento por el uso del ciclo combinado. Un sistema de oxido sólido por lo general usa un material duro de cerámica en vez de un electrolito líquido. Este tipo de construcción permite manejar más altas temperaturas lo que permite más flexibilidad en la selección del combustible, y contribuye en la estabilidad y confiabilidad. Como con las MCFC, las SOFC son capaz de una eficiencia de combustible electricidad de 50 a 60 % de LHC, y a eficiencia térmica total del sistema llega hasta 85% LHV en aplicaciones de ciclo combinado [7].

Membrana de Intercambio de Protón (PEMFC: Proton Exchange Membrane Fuel Cells). Estas operan a relativamente bajas temperaturas (alrededor de 200°C), poseen una alta densidad de potencia, que puede variar su salida rápidamente para responder a cambios en la demanda de potencia, y son ideales para satisfacer aplicaciones donde el arranque rápido es requerido (por ejemplo, el transporte y la generación de poder). La membrana de intercambio de protones es una hoja delgada plástica que permite a los iones de hidrógeno pasar por ella. La membrana es cubierta a ambos lados con partículas metálicas de aleación sumamente dispersadas (sobre todo el platino) que son catalizadores activos. El hidrogeno es alimentado la lado del ánodo de la célula de combustible donde el catalizador potencia los átomos de hidrogeno a liberar electrones y hacerse iones de hidrógenos (protones). Los electrones viajan en la forma de una corriente eléctrica que puede ser utilizada antes que esta retorne al lado del cátodo de la celda de combustible donde el oxigeno ha sido alimentado. Al mismo tiempo, los protones de difunden por le cátodo, donde los átomos de hidrogeno son recombinados para producir agua, esto completa todo el proceso [7].

Tabla 4. Comparación de Tecnologías de Celdas de Combustible [5]

Comparaciones de Celdas de Combustible				
	PAFC	SOFC	MCFC	PEMFC
Comercialmente disponible	Si	No	No	No
Rango de Capacidad	100-200 kW	1 kW - 10 MW	250 kW - 10 MW	3-250 kW
Combustible	Gas natural, landfill gas, digester gas, propano	Gas natural, hidrogeno, landfill gas, fuel oil	Gas natural, hidrógeno	Gas natural, hidrogeno, propano, diesel
Eficiencia	36-42%	45-60%	45-55%	30-40%
Contaminación	Cercano a cero	Cercano a cero	Cercano a cero	Cercano a cero
Otras características	Cogen (agua caliente)	Cogen agua caliente, vapor de alta y baja presión)	Cogen agua caliente, vapor de alta y baja presión)	Cogen (agua 80 C)
Estado Comercial	Algunas comercial disponibles	Comercializ probable a 2004	Comercializ probable a 2004	Comercializ probable a 2003/2004

V.1. APLICACIÓN

PAFC. Hay alrededor de 200 celdas de combustible de ácido fosfórico en servicio solamente en EEUU y mucha experiencia operativa ha sido obtenida [5]. Estas celdas de combustible han sido instaladas en sistemas eléctricos, comerciales, médicos, industriales, y el tamaño de 200 kW es el que mejor se ha ajustado para las aplicaciones de generación distribuida. La temperatura de operación es de alrededor de 400° F, las cuales son adecuadas para la aplicaciones de cogeneración. Los desarrolladores de las PAFC apuntan a aplicaciones comerciales e industriales ligeras en el rango de potencia entre 100-200 kW, para tanto generación solo eléctrica o aplicaciones de cogeneración. Para tales aplicaciones, PAFC han demostrado múltiples características favorables para su uso, incluyendo:

- Sistemas ensamblados con una extremadamente alta confiabilidad (lagunas han operado en el campo por mas de 9.000 horas de servicio continuo).
- Muy bajo ruido y baja vibración.
- Emisiones contaminantes despreciables.
- Eficiencia eléctrica alta (36-42%)

MCFC. Su alta eficiencia y las altas temperaturas las hacen muy atractivas para la generación de la carga base, tanto en los modos de cogeneración o generación de electricidad solamente. Las aplicaciones potenciales incluyen: industrial, instalaciones gubernamentales, Universidades y Hospitales.

SOFC. Estas celdas están siendo consideradas para una variedad de aplicaciones, especialmente en el rango de capacidades de 5-250 kW: cogeneración residencial, pequeños edificios comerciales, instalaciones industriales. Mayores tamaños en el rango de los multimegawatt, están siendo considerada, y podrían ser usados para aplicaciones primarias o carga base de empresas eléctricas.

PEMFC. La tecnología desarrollada ha sido dada en gran parte para el sector automotor, donde ellas poseen una ventaja

convinciente sobre las otras celdas de combustible en términos de su tamaño y tiempo de arranque.

Tabla 5. Comparación de Tecnologías de Celdas de Combustible [5]

Tecnología de la Celda de Combustible	Densidad de potencia pico (mW/cm ²)	Eficiencia del Sistema (% HHV)	Tiempo de Arranque (horas)
PAFC	~200	36-45	1-4
MCFC	~160	43-55	10+
SOFC (tubular)	150-200	43-55	5-10
SOFC (plana)	200-500	43-55	desconocido
PEMFC	~700	32-40	<0.1

Algunos de sus atributos son también atractivos para el mercado estacionario, y han encontrado desarrollo simultáneo en varias áreas. Los productos están siendo desarrollados en grandes rangos para tamaños de generación de electricidad comercial y de pequeña potencia para generación de potencia a nivel residencial. Las consideraciones prácticas indican que esas unidades son capaces de operar con gas natural. Como con todas las tecnologías de celdas de combustible, la necesidad de expulsar el calor del sistema (en forma de agua caliente) los hace en particular atractivos por la cogeneración, que es incluida en casi todos los productos actualmente en desarrollo. Las celdas de combustible actualmente se están desarrollando en gran rango de aplicaciones incluyendo: automóviles, residenciales (<10 kW), comercial (10-250 kW), industrial liviano (250 kW y menos) estas tres últimas aplicaciones con y sin cogeneración y la generación portátil (pocos kW y menos).

V.2. RENDIMIENTO

Las celdas de combustible prometen entregar una eficiencia de conversión eléctrica en el rango de 40% a 60%. Una eficiencia de conversión total de energía (aproximándose al 90%), son posibles cuando son usadas aplicaciones de cogeneración, donde tanto el calor como la electricidad de la reacción son utilizadas [5]. Otra característica promisorias es la muy baja emisión contaminante de las celdas de combustible. Debido a que ellas producen electricidad sin combustión, los productos usuales de la combustión no están presentes. Las celdas de combustible también operan silenciosamente y confiablemente. Las celdas de combustible están siendo desarrolladas en un rango de tamaños entre unos pocos kilowatts hasta unos pocos megawatts [7]. Sin embargo, las unidades más grandes (hasta 20MW) y más pequeñas micro celdas de combustible (para equipos portátiles electrónicos) están también siendo investigados. La fuerza detrás del desarrollo de las celdas de combustible no está solo en la industria eléctrica, sino en la industria de los automóviles transporte. Este interés cruzado ha ayudado a acelerar el progreso hacia las celdas de combustibles comerciales.

PAFC. La eficiencia de conversión de estas ha sido demostrada en el rango de 35-40%. La confiabilidad ha sido buena para algunas unidades en servicio.

MCFC. Las evaluaciones de los vendedores han colocado su eficiencia en alrededor de 50%.

SOFC. Las evaluaciones de los vendedores han ubicado la eficiencia eléctrica (LHV) en alrededor de 50%. Con SOFC/gas turbinas híbridas, cuando la celda de combustible es usada como un ciclo magnífico, la eficacia total eléctrica puede exceder el 60 %.

PEMFC. Se estima que el muy probable cerca del término, la eficacia optimizada por costo de esta tecnología estará la gama de 30-33 %. La eficacia podría aumentar al nivel del 40 % en hacia el 2005 si los siguientes logros técnicos son realizados:

- Los costos de pila son reducidos tanto para permitir una operación costo efectivo a 0.8 voltios por celda o más alto.
- La utilización de las celdas de combustible de hidrogeno con combustibles reformados es incrementado al 80% o más alto.
- Los requerimientos de exceso de aire del cátodo de la celda de combustible son 50% o menos.

Adicionalmente, el desarrollo de celdas de combustible de membrana de alta temperatura puede incrementar dramáticamente el potencial para la tecnología de celdas de combustible, tanto incrementando la eficiencia del sistema y simplificando el diseño de los sistemas PEMFC.

V.3. COSTOS

El costo inicial de las celdas de combustible es muy alto comparado con las otras tecnologías DER. El único producto disponible comercialmente en la actualidad es el PC-25TM construido por UTC (<http://www.utcfuelcells.com/>). En el 2001 el costo de la unidad era de aproximadamente 4000 US\$/kW. El costo de instalación de la unidad es aproximadamente 1.000.000 US\$. Para una salida de 200 kW, este significa alrededor de 5000 US\$/kW, instalado. Otras celdas de combustible están menos desarrolladas [4].

Las proyecciones de precios de las celdas de combustible varían pero la mayoría de los fabricantes apuntan en costos por debajo de 1500 US\$/kW basados en el volumen de producción. Es sumamente improbable que estos precios objetivos sean alcanzados antes del 2004. En el precio actual, las unidades sólo son usadas en alto valor, nichos, de mercado donde la confiabilidad es máxima, y en áreas donde los precios de electricidad son muy altos y el precio de gas es muy bajo. El arreglo de celdas de combustible por si misma no requiere mantenimiento hasta el final de su vida. Los costos de mantenimiento de una celda se espera que sean comparables con el de las microturbinas, en rangos entre los 0.005-0.010US\$/kWh (basados una visita de inspección anual a la unidad) [4].

V.4. FORTALEZAS Y DEBILIDADES

PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cells	
Fortalezas	Debilidades
Silencioso	Altos Costos

Bajas emisiones	
Alta eficiencia	
Probada confiabilidad	

MCFC: Molten Carbonate Fuel Cells	
Fortalezas	Debilidades
Silencioso	Necesita demostrar a largo termino la seriedad
Bajas emisiones	
Alta eficiencia	Alto costo

SOFC: Solid Oxide Fuel Cells	
Fortalezas	Debilidades
Silencioso	Las SOFC planas aun se mantienen en investigación y desarrollo, pero recientes desarrollos en operación a baja temperaturas son una promesa
Bajas emisiones	
Alta eficiencia	Alto costos

PEMFC: Proton Exchange Membrane Fuel Cells	
Fortalezas	Debilidades
Silenciosos	Limitada experiencia en campo
Bajas emisiones	La baja temperatura del calor de desecho puede limitar su potencial en cogeneración.
Alta eficiencia	
Sinergia con investigación y desarrollo para automóviles	Alto costo

VI. ELECTRICIDAD SOLAR

Los sistemas solares de energía eléctrica transforman la luz del sol en electricidad. Las celdas solares emplean los denominados semiconductores para crear electricidad cuando este material es expuesto al sol. Los sistemas solares eléctricos son silenciosos, fácil de usar, y no requieren combustible diferente a la luz solar. Debido a que no contienen partes móviles, ellos son durables, confiables y fáciles de mantener [4]. Las celdas solares, también conocidos como celdas fotovoltaicas (*PV: Photovoltaic*), hacen el trabajo de producir electricidad. Hay algunos tipos de tecnologías eléctricas solares actualmente bajo desarrollo, pero cuatro: cristales de silicio (una forma refinada de la arena de playa), películas delgada, concentradores, y termo fotovoltaico: son un rango ilustrativo del rango de tecnologías. Las celdas solares son conectadas a una variedad de otras componentes para construir el sistema eléctrico solar. **Cristales de Silicio.** Son usados en más de la mitad de los equipos solares eléctricos. Las celdas solares de silicio

policristalino son las más baratas que para producir electricidad pero poseen una menor eficiencia que la de cristales sencillos de silicio. Sin embargo, esta solo puede producir una pequeña cantidad de electricidad. Conectadas juntas, las celdas solares que forman módulos pueden generar substanciales valores de potencia. Los módulos son construidos bloques de sistema eléctrico solar, los cuales pueden producir valores apreciables de potencia. Los grandes arreglos de módulos solares pueden suministrar electricidad para empresas. Adicionalmente a los módulos, algunos componentes son necesarios para completar un sistema de electricidad solar. Muchos sistemas incluyen baterías, cargadores de baterías, generadores de respaldo, controladores. Los sistemas conectados a redes de potencia, no requieren baterías o generadores de respaldo. Los sistemas eléctricos solares pueden incorporar inversores o unidades de conréelo de potencia para transformar la electricidad de corriente continua producida por las celdas solares en corriente alterna que alimenta aplicaciones en AC o para la venta a una red eléctrica. Un sistema completo incluye desconectadotes de seguridad, fusibles y sistemas de aterramiento también.

Películas delgadas. Son más baratos para producir electricidad pero algo menos eficiente que los módulos de silicio cristalino. La tecnología mas desarrollada de las películas delgadas usa el silicio amorfo, en el cual los átomos no están arreglados en un orden particular como lo estarían en un cristal. Una película delgada de silicio amorfo, de solo un micrón de espesor puede absorber 90% de la energía solar usable que cae en el. Otros materiales de película delgada incluyen el Telurio de Cadmio, y el cobre indio diselinido. Substanciales disminución en costos son posible con esta tecnología debido a que requiere relativamente menos materiales semiconductores. Las películas delgadas son producidos como grandes, módulos completos, con como celdas individuales que debe ser montada en marcos cableados todos. Ellos son fabricados por aplicación de capas extremadamente delgadas de material semiconductor a un soporte de bajo costo como vidrio o platico. Contactos eléctricos, capa de antireflexivo, y capas protectoras son también aplicadas directamente al material de soporte. La películas delgada conforma a la forma del apoyo, un rasgo que les permite para ser usado en productos tan innovadores como ripias flexibles solares eléctricas techadas [4].

Concentradores Solares. Esta tecnología usa lentes ópticas (similar a una lupa plástica) o espejos para concentrar la luz solar que cae a una celda solar, con lo que se produce más electricidad. Hoy en día, la mayoría de las celdas solares en concentradores son hechas de silicio cristalino. Sin embrago, materiales como arsénico de galio y fosfato de galio indio son mas eficientes que el silicio en concentradores eléctricos solares y probablemente serán mas vistos en el futuro. Estos materiales son ahora usados en satélites de comunicación y otras aplicaciones espaciales. Los concentradores producen mas electricidad usando menos de los costosos materiales

semiconductores que los otros sistemas solares de electricidad. La unidad básica puede ser combinada dentro de módulos de variados tamaños y formas. Los concentradores trabajan solo con los rayos solares directos y operan más eficientemente en climas soleados u secos. Ellos deben ser empleados con sistemas de tracción para mantener el sistema apuntando al sol.

Termofotovoltaico. Estos dispositivos convierten el calor en la misma vía en que otros equipos PV convierten la luz en electricidad. La diferencia es esta tecnología usa un semiconductor sintonizado a la longitud de onda emitida por la radiación infrarroja emitido por cuerpos calientes. Esta tecnología es limpia, silenciosa y simple vía para producir electricidad del calor que los sistemas convencionales de potencia usando en turbinas de vapor y generadores. Los convertidores TPV son relativamente libres de mantenimiento, debido a que no contienen partes móviles. Además usar la energía solar, ellos pueden convertir el calor de alguna fuente de calor de alta temperatura, incluyendo la combustión de una fuente como gas natural o propano en electricidad. Los convertidores TPV virtualmente de poca o ninguna emisión de monóxido de carbono. Estos también pueden ser usados en el futuro en los hornos de gas que generan su propia electricidad para la auto-ignición (durante cortes de corriente) y en generadores portátiles y cargadores de batería [4].

VII. BIOFUENTES DE ELECTRICIDAD

La energía biomasa, también llamada bioenergía, es la electricidad producida por los combustibles de biomasa. La biomasa consiste de productos materiales y animales, que incluyen residuos provenientes de la madera y de las industrias productoras de papel, residuos de producción de alimentos, y procedentes de árboles e hierbas cultivadas expresamente para ser usado como cosechas de energía, y combustibles gaseosos producidos de biomasa sólida, desechos de animal, o terraplenes. La tecnología biomasa convierte los combustibles renovables de biomasa en electricidad (y calor) usando modernos calentadores, gasificadores, turbinas y generadores celdas de combustibles y otras tecnologías. La biomasa puede ser convertida en electricidad de acuerdo a varios procesos, siendo mas frecuentemente generar electricidad usando un ciclo de vapor. La biomasa puede ser también quemada con carbón en una caldera (en una planta de generación convencional) para producir vapor y electricidad. La quema conjunta de carbón y biomasa es un camino ventajoso para las empresas eléctricas para obtener algunos beneficios ambientales del uso de la energía renovable. La biomasa sólida puede ser convertida en combustible gaseoso en un gasificador El biogas puede ser quemado en conjunto con madera (u otro combustible) e una caldera generadora de vapor o usado para operar una turbina a gas convencional. El biogas puede ser también creado por

la digestión de desechos de comida o animales en la ausencia de oxígeno. Este proceso también es llamado digestión anaeróbica, en cualquier contenedor hermético que contiene una mezcla de bacterias normalmente presentes en la basura animal. El biogas puede ser usado para calefacción o para generación de electricidad en un motor de combustión interna modificado. Sin embargo, avanzadas tecnologías de gasificación son necesarias para convertir los desechos animales en un biogas con suficiente energía para alimentar una turbina a gas. Los rellenos sanitarios también produce un biogas rico en metano, a partir de la disolución de los residuos contenidos en la biomasa. Sin embargo, el gas producido en un relleno sanitario debe ser limpiado para remover químicos peligrosos y corrosivos antes de que sea utilizado para la producción de electricidad. Los gases combustibles producidos por la biomasa puede ser empleado para generar electricidad en una turbina a gas, o en una unidad de generación de ciclo combinado. En una unidad de ciclo combinado, los gases calientes de desecho de una turbina a gas son empleados para crear vapor que hace girar una turbina a vapor y generador.

VIII. ENERGÍA EOLICA

La energía eólica es la fuente de energía de mayor crecimiento en el mundo. Hacia finales del año 2002, la capacidad instalada de generación eólica era aproximadamente de 17.000 MW, suficiente para generar alrededor de 34 billones de kWh al año de electricidad. Que es suficiente energía para alimentar a New York, EE.UU [9]. Esta tecnología es limpia y renovable que se ha incrementado en popularidad con los consumidores y las políticas del mercado. En respuesta, las empresas eléctricas han desarrollado nuevas plantas de viento (*winds power plants*), consistente de muchas turbinas de viento. Las turbinas eólicas son eficientes usualmente poseen dos o tres, que son aerodinámicamente diseñadas para capturar la mayor cantidad de energía del viento. El movimiento del aspa es aplicado a un generador para producir electricidad. Sofisticados equipos electrónicos convierten la corriente directa en una corriente alterna de alta calidad que es transmitida a la red de potencia [9]. Cuando la velocidad se incrementa, el valor de la electricidad generada aumenta exponencialmente. Debido a los vientos rápidos, menos turbulentos son encontrados en alturas sobre el terreno, los nuevos aerogeneradores están ubicados en torres de algunos cientos de pies de altura [4].

VIII.1. APLICACIONES

La energía eólica es una fuente de energía viable con aplicaciones amplias para la generación distribuida. Las granjas eólicas pueden ser de tamaño pequeño o gran escala. Esta forma de generación se ha hecho popular en países en vía de desarrollo debido a la instalación rápida y simple y exigencias de mantenimiento bajas una vez instaladas. Esto es beneficioso a áreas remotas usando una pequeña red de electricidad local que es incapaz de conectarse a una gran red de potencia. Los generadores eólicos se presentan en tamaños tan pequeños

como un rotor de 0.5m de diámetro, hasta tan grandes como 90m de diámetro del rotor, para potencias que van desde 20 Watt en corriente directa (*DC: Direct Current*) hasta 4MW en corriente alterna (*AC: Alternate Current*) [9]. Las pequeñas turbinas de viento comprenden tres subcategorías: micro, mini y para casas (*household*). Las pequeñas turbinas son DC y son usadas para alimentar botes, pequeñas granjas, estaciones de telecomunicación. Las turbinas industriales son AC y empleadas para bombas de petróleo, complejos residenciales, hoteles, y son frecuentemente usadas en pequeñas granjas eolicas para la producción en escala comercial. Las turbinas eólicas tipo industria eléctrica (*utility*) son usadas para generación centralizada en ciudades.

Tabla 6. Características Generales por Tamaño de Generadores Eólicos [9]

Categorías Generales para Generadores Eólicos por Tamaño		
Tipo	Tamaño del Rotor	Electricidad Producida
Micro	.5 - 1.25 m	20 - 300 watts
Mini	1.25-2.75 m	300 - 850 watts
<i>Household</i>	2.75 - 7 m	850 watts - 10 kW
Industrial	7 - 30 m	10 kW - 100 kW
<i>Utility</i>	30 - 90 m	100 kW - 4 mW

VIII.2. COSTOS

Las granjas eólicas en gran escala pueden ser instaladas con costos cercanos a los 1000US\$/kW [9]. Los costos por kWh de una granja es una función del factor de capacidad anual de la granja de viento, costos de mantenimiento, y costos de instalación. El costo de la energía eólica es de alrededor de 3 a 6 céntimos de US\$/kWh rango que varia por el promedio de las granjas eólicas por su ubicación. Estos costos incluyen en el caso de los Estados Unidos el impuesto federal por producción de 1.7 céntimos de US\$/kWh para los primeros diez años de operación. Los costos para turbinas eólicas de pequeña escala es mas alto. Una turbina eólica para casa típica de 10kW puede costar entre 25.000-35.000 US\$ instalado [4]. Si es colocado en una zona de buenos vientos, producirá entre 10.000 y 18.000 kWh por año. Tal turbina tiene un diámetro de la hélice de 20-25 pies, y necesita ser colocado en una torre de 100 pies de alto. Una casa ubicada en una parcela de un acre cuadrado podría acomodar tal turbina, dependiendo de las restricciones locales [9].

VIII.3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES

La energía generada desde las granjas eólicas puede ser económica cuando son comparadas con otros métodos tradicionales de producción de electricidad, dependiendo del tamaño de la granja eólica. El costo para generar electricidad decrece conforme el tamaño de la granja eólica se incrementa, siendo típico para esta forma de energía está entre 3¢ y 6¢ por kWh. Las turbinas eólicas debido a que no producen ninguna emisión peligrosa o no requieren ningún

tipo de combustible producto combustible para su operación. Mínimo espacio es requerido para una granja eólica; el terreno bajo de cada turbina para ganadería o agricultura. Una desventaja de las turbinas eólicas es un problema de antiestética creado cuando son colocados en áreas de alta densidad Otra de las posibles desventajas es la muerte de aves debido a su choque contra las hélices girando. Estudios están siendo conducidos para determinar la tasa de mortalidad. Sin embargo, el apoyo aplastante público para a la energía eólica sigue promoviendo instalaciones de granja de viento, de tal modo que las interconexiones de los sistemas distribuidos seguirán aumentando. La potencia de salida de una turbina de viento es variable debido a la fluctuación en la velocidad de viento; sin embargo, cuando se acopla con un dispositivo de almacenaje de energía, el la energía eólica puede proporcionar una salida de poder estable. También, el empleo de sistemas de control puede ayudar nivelar la variabilidad.

IX. MOTORES STIRLING

Los motores Stirling, son clasificados como motores de combustión externa, siendo un sistema sellado dentro de un fluido de trabajo inerte, usualmente helio o hidrogeno generalmente encontrados en pequeños tamaños (1-25kW) y están siendo actualmente producidos en pequeñas cantidades para aplicaciones especializadas. El reciente interés de una FED, de uso para la industria espacial y marítima, ha revivido el interés por el motor Stirling y ha resultado, en un aumento en los esfuerzos de investigación y desarrollo [4]. Los desarrollos del motor Stirling han sido dedicados a un amplio rango de aplicaciones, incluyendo:

- Pequeña escala o residencial o generación de potencia portátil.
- Aplicaciones de discos solares –calor reflejado de los colectores concentradores solares es usado para alimentar un motor Stirling.
- Vehículos –fabricantes de autos han investigado las potencialidades del motor Stirling en los vehículos.
- Refrigeración – los motores Stirling esta siendo desarrollados para proveer refrigeración para aplicaciones tales como microprocesadores y superconductores.
- Aeronaves –los motores Stirling puede proveer un silencioso motor operativo para pequeñas aviones.
- Espacial –unidades de generación de electricidad a bordo de naves y vehículos espaciales.

IX.1. RENDIMIENTO

Estos motores solo los hay en pequeña cantidades para aplicaciones especializadas, por lo que los datos de rendimiento son difíciles de obtener. La energía de este tipo de motor (*STM: Striling Termal Motor*) ronda 25 kW con una eficacia eléctrica real de aproximadamente 30 %, aunque el objetivo es que se aumente esta eficacia al 34 % con más desarrollo. Otras empresas reportan eficiencias eléctricas de motores Stirling corriente están en el rango de 12 a 30% [8].

IX.2. COSTOS

Los costos de capital de motores Stirling (2.000- 50.000 US\$/kW) son relativamente altos, y no son actualmente competitivos con las otras tecnologías FED [4]. Son manufacturados en muy pocas cantidades lo que resulta en unos elevados costos de capital. Los desarrolladores están trabajando para bajar los costos por medio de una combinación de diseño refinado y sustituciones de materiales. La reducción de los costos de la tecnología de los motores Stirling ha sido el foco de curso de las investigaciones debido a que el número de materiales relacionados con el diseño específico de la arquitectura. Entre estos están [8]:

- Las altas temperaturas de los ensambles requieren de grandes áreas de superficies, y deben ser hechos de materiales exóticos que son particularmente difíciles para trabajarlos, moldearlos y soldarlos.
- La sección de refrigeración también requiere de grandes superficies para permitir que la suficiente transferencia de calor con un mínimo volumen vacío.
- El ensamble del regenerador posee una necesaria muy fina malla de matriz para la transferencia de calor que puede operar cerca de la cabeza de calor, y entonces requiere materiales para las altas temperaturas.
- El ensamble del eje sellado separa el espacio de trabajo del hidrogeno de alta presión del tren lubricado, son costosos debido a los requerimientos de complejidad del sello y las pequeñísimas tolerancias.

IX.3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES

Los motores Stirling poseen un número de características que han hecho deseable y han propulsado varias investigaciones y esfuerzos de desarrollo en los últimos 50 años.

Tabla 7. Fortalezas y Amenazas de las los motores Stirling [8]

Motores Stirling	
Fortalezas	Debilidades
Bajo ruido y operación sin vibraciones	Altos costos
Bajas emisiones	Bajas eficiencias
Bajo mantenimiento, y alta confiabilidad	
Relativamente pocas partes móviles, mecánicamente simple	
Capacidad de multicomcombustible, incluyendo energía solar	
Larga vida	

X. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO/ SISTEMAS DE UPS

Las tecnologías de almacenamiento de energía no producen energía neta a la red solo pueden proveer energía eléctrica sobre periodos de tiempo cortos. Estos son usados para

corregir el voltaje, y perturbaciones del mismo: *sag*, *flicker*, y *surges*, que ocurren cuando las empresas eléctricas o los consumidores interrumpen el suministro o cargas. Estos también pueden ser empleados como fuente ininterrumpida de energía (UPS). Como tal, las tecnologías de almacenaje de energía, como se considera, son un recurso de energía distribuida.

Almacenaje de Batería (Battery Storage). Las empresas eléctricas típicamente emplean las baterías para proveer una fuente interrumpida de energía eléctrica a las subestaciones y para arrancar los sistemas de energía de respaldo. Sin embargo, estas se han interesado por ir más allá de esas aplicaciones realizando la nivelación de carga y el *peak shaving* con los sistemas de batería que pueden almacenar y enviar la energía por un periodo de algunas horas. Las baterías también han incrementado su calidad de energía y confiabilidad para consumidores residenciales, comerciales e industriales proveyendo un respaldo o nivelación durante una pérdida de energía. Las baterías estándar usadas en las aplicaciones de almacenamiento de energía son de plomo-ácido. La reacción en las baterías de plomo-ácido es reversible, permitiendo a la batería ser rehusada. También hay algunas baterías avanzadas como sodio/sulfuro, zinc/bromo, y litio/aire, que están cercas de ser comerciales, ofreciendo una promesa en la aplicación en las empresas eléctricas.

Volantes (Flywheel). Es un dispositivo electromecánico que acopla un motor-generator con una masa dotante para almacenar energía por corta duración. Los volantes convencionales son “cargados” y “descargados” vía un motor-generator. El motor-generator maneja la energía proveida por la red al rotor que gira del volante. Durante un corte de suministro eléctrico, *sag* u otra perturbación el motor-generator entrega energía. La energía cinética almacenada en el rotor es transformador en energía eléctrica DC por el generador, y la energía es entregada a frecuencia constante y voltaje a través de un inversor y un sistema de control. Tradicionalmente el rotor volante esta usualmente construido de acero y están limitados a girar a una rata de unas pocos cientos de revoluciones por minuto (RPM). Los volantes avanzados son construidos de materiales de fibra de carbón y rodamientos magnéticos que pueden girar en vacío a velocidades de 40.000 a 60.000 RPM. El volante provee energía durante el periodo entre la pérdida del suministro de la empresa y el comienzo de un sistema de respaldo de energía (por ejemplo, generador diesel). Los volantes proveen 1-30 segundos de tiempo, mientras los sistemas de respaldo entran en funcionamiento entre 5 y 20 segundos.

Superconductores Magnéticos de Almacenamiento de Energía (SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage). Ellos almacenan energía en el campo de una gran bobina magnética con un flujo de corriente continua. Esta puede ser convertida de nuevo en corriente alterna cuando sea necesario. La baja temperatura de SMES enfriados por helio

líquido está comercialmente disponible. Los SMES de alta temperatura enfriado por nitrógeno líquido aun se mantienen en la etapa desarrollo y puede hacerse una fuente de almacenamiento de energía comercialmente viable en el futuro. Un campo magnético es creado por la circulación de una corriente DC en una bobina cerrada de cable semiconductor. El camino de la corriente circulante por la bobina puede ser abierto por un interruptor en estado sólido el cual es modulado para abrir y cierra. Debido a la alta inductancia de la bobina, cuando el interruptor se abre, la bobina magnética se comporta como una fuente de corriente y forzara la corriente a un capacitor el cual se cargara a algún nivel de tensión. La adecuada modulación del interruptor de estado sólido puede mantener el voltaje a través del capacitor dentro del apropiado rango de operación de un inversor. Un inversor convierte el voltaje DC en voltaje AC. Los sistemas SMES son grandes y generalmente usados para corta duración, tales como un evento de swicheo de la empresa eléctrica.

Super-capacitor (Supercapacitor). También llamados *ultracapacitores*) son fuentes de energía DC y deben ser interconectados con la red eléctrica con un acondicionador de potencia estático, proveyendo una salida de 60Hz. Un supercapacitor provee energía durante una interrupción de corta duración y sags de voltaje. Por la combinación de un supercapacitor con un sistema de potencia ininterrumpida basado en baterías, la vida de las baterías puede ser extendida. Las baterías proveen energía solo durante las interrupciones mas largas, reduciendo el ciclo de trabajo de la batería. Pequeños supercapacitores son comercialmente disponibles para extender la vida de la batería en equipos electrónicos, pero los grandes capacitores aun se mantienen en desarrollo, pero pueden estar pronto disponibles un viables componente del campo de almacenamiento.

Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido (CAES: Compressed Air Energy Storage). Este usa el aire presurizado como un medio de almacenamiento de energía. Un motor eléctrico impulsa un compresor que es usado para presurizar el reservorio de almacenamiento usando la energía fuera de las horas pico y el aire es liberado del depósito por una turbina durante el horas pico para producir la energía. La turbina es esencialmente una turbina modificada que también puede ser encendida con el combustible gas natural o combustible destilado. La localización ideal para los grandes depósitos de almacenaje de energía de aire comprimido grandes son capas acuíferas, minas convencionales de rocas duras, y cavernas hidráulicamente explotadas para extraer sal. El aire puede ser almacenado en tanques a presión para pequeños sistemas.

Tabla 8. Estado de Desarrollo de las Diferentes Tecnologías de Almacenamiento [4]

Tecnología de Almacenamiento	Estado del Desarrollo
Baterías	Pilas de plomo-ácidas son disponibles en el comercio y extensamente usadas. La investigación en curso para pilas avanzadas.
<i>Flywheels</i>	Los volantes son comercialmente disponibles como productos individuales o integrados con motores. Significativa investigación esta también desarrollándose en torno a productos de volante nuevos.
<i>Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)</i>	La SMES es comercialmente disponibles usando superconductores en el helio líquido. Los superconductores en el nitrógeno líquido están en la etapa de desarrollo..
Supercapacitors	Pequeños supercondensadores están disponibles en el comercio para su empleo en dispositivos electrónicos. Supercondensadores Grandes son actualmente en desarrollo.
Sistema de Almacenamiento de Aire Comprimido (CAES)	El empleo de las tecnologías CAES existentes no son extensamente utilizado debido a las exigencias significativas de espacio

Las tecnologías de almacenaje no son sólo definidas por el medio de almacenaje, sino también por el tipo de uso y la duración de tiempo sobre el que la energía almacenada es usada.

Tabla 9. Aplicación de las Tecnologías de Almacenamiento y su Aplicación

Duración de la Energía Almacenada la carga nominal del dispositivo de almacenamiento	Aplicación Primaria
Extremadamente Corta Duración (1-10 segundos)	Power quality: provee alimentación a cargas críticas durante sag de voltaje o muy cortas interrupciones momentáneas
Corta Duración (10-300 segundos)	Power quality: provee alimentación a cargas críticas durante sag de voltaje o mas o menos largas interrupciones momentáneas. Da tiempo para que los alimentadores de potencia alternativas y de respaldo sean energizados.
Duración Moderada (5-60 minutos)	Power quality/confiabilidad del servicio: todos los beneficios previamente dichos, mas permitir funcionar durante interrupciones de potencia mas largas.
Larga Duración (1-4 horas)	Power quality/confiabilidad del servicio/ algunas aplicaciones limitadas DER: todos los previamente descritos beneficios de power quality mas algunas capacidades limitadas de balance de carga y <i>peak shaving</i>
Muy larga duración (4 horas hasta algunos días)	Almacenamiento y generación distribuida-seguimiento de carga, <i>peak shaving</i> . Almacenamiento para sistemas PV individuales

X.1. RENDIMIENTO

A diferencia de otros equipos DER, cuyo funcionamiento tiende a ser determinado por la generación de potencia o la eficacia eléctrica, el funcionamiento de los sistemas de almacenaje de energía y sistemas UPS es determinado por la capacidad y la duración del equipo.

Tabla 10. Comparación de Capacidad de Potencia y Fabricantes para diferentes tipos de tecnologías según EPRI

Fabricante	Tecnología	Capacidad (kW)	Capacidad (tiempo)
A	Flywheel	120 kW	20 sec
B	Flywheel/ Batería	160 kW	15-30 min
C	Batería	3.1 - 7.5 kVA	15 min
	Batería	0.7 - 2.1 kVA	10 min
	Batería	700 - 2100 kVA	13 min
	Batería	7.5 - 25 kVA	17 min
D	Batería	1250 kVA	15 min
	Flywheel	700 kW	10 min
E	Batería	450 - 1600 kVA	6-12 min
F	Flywheel/ Batería	5-1000 kVA	5-60 min
G	Batería	0.14 - 1.2 kVA	5-59 min
H	Batería	0.28 - 0.675 kVA	15 min

X.2. COSTOS

Los sistemas UPS son los más populares para equipos críticos como los médicos, telecomunicaciones y procesamiento de datos. El costo de un sistema completo de UPS puede variar entre 200US\$/kVA a 1500US\$/kVA [4]. Los costos de mantenimiento incluyen el reemplazo de baterías, capacitores y rectificadores. Los costos de las baterías pueden representar entre el 60 y 70% de costo completo del sistema UPS. La frecuencia de reemplazo de las baterías depende de cuán profundamente las baterías han sido agotadas y cuán rápidamente la corriente es drenada de la batería durante su descarga. Típicamente las baterías son reemplazadas cada 5 a 7 años.

X.3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES

Un sistema de almacenamiento apropiadamente configurado aporta beneficios como:

- Mejora en la calidad de servicio (*power quality*) y confiabilidad.
- Opción de compra y venta de energía limpia.
- Se ahorran costos de energía y demanda por el seguimiento de la carga.
- Reducen las inversiones en infraestructuras de distribución y transmisión.

Algunas de las desventajas que presentan el sistema de almacenamiento de energía:

- Altos costos para sistema de almacenamiento de larga duración.
- Pérdidas de potencia parásita para mantener la unidad cargada.
- Alto mantenimiento (por ejemplo, frecuentes pruebas, evaluación de las cargas de la batería).

XI. SISTEMAS HÍBRIDOS

Los desarrolladores y fabricantes de DER están buscando una vía para combinar tecnologías para aumentar el rendimiento y la eficiencia de los equipos de generación distribuida. Algunos ejemplos de sistemas híbridos incluyen:

- Celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) combinados con turbinas a gas o microturbinas.
- Motor Stirling combinados con un disco solar.
- Turbinas eólicas con baterías de almacenamiento y generador de respaldo.
- Motores (y otras promotores) combinados con dispositivos de almacenamiento de energía tales como *flywheels*.

El sistema híbrido de turbina gas/SOFC pueden proveer una eficiencia eléctrica de conversión de 60 a 70%. El concepto de la SOFC/turbina a gas se sustenta en el principio de que la eficiencia de la celda de combustible y la velocidad de reacción puede ser mejorada cuando el paquete de celdas de combustible operan sobre la presión atmosférica. Por la operación del conjunto de celdas de combustible a 4 atmósfera o más altas presiones, es posible integrar la celda de combustible con una turbina a gas. En este arreglo híbrido, el compresor de la turbina a gas es usado para presurizar la celda de combustible, entonces los escapes de calientes de la celda de combustible, los cuales mantiene constante el 50% de la energía el combustible (como un combustible de no reaccionado y calor remanente), es alimentado de vuelta dentro de la turbina, quemados y expandidos para extraer más energía. La energía es recuperada por el recuperador es empleada para ayudar al calor del aire de entrada del compresor para la celda de combustible. Algunas compañías están trabajando en el desarrollo de sistema híbrido de Motor Stirling/Disco Solar. Este tipo de sistema híbrido es pequeño, con salidas típicas en el rango de alrededor de 5 a 25 kW. El tamaño hace al sistema híbrido Stirling/disco ideal para sistemas *stand-alone* o independientes u otras aplicaciones descentralizadas como un reemplazo de los generadores diesel. Grandes plantas Stirling/disco con salidas de 1 a 20 MW puede ser desarrollado para aplicaciones de mallas de moderada escala.

Los sistemas híbridos Stirling/disco pueden también ser diseñados para funcionar con combustibles fósiles cuando no hay rayos solares. Las turbinas solares pueden ser usados en combinación con sistemas de almacenamiento de energía y algunos tipos de generación de respaldo (por ejemplo, motores recíprocos, turbinas o celdas de combustibles) para proveer

suministro de energía de régimen permanente a remotas ubicaciones no conectadas a las grades redes eléctricas. Los dispositivos de almacenamiento de energía tales como flywheels están siendo combinados con motores de combustión interna y microturbinas para proveer una fuente de potencia de respaldo confiable. La energía almacenada en dispositivos provee una capacidad de sobreponerse a una discontinuidad de servicio hasta que las Fuentes de respaldo entran en servicio. En este caso, los usuarios pueden tener un sistema de suministro libre de interrupción.

XII. COCLUSIONES

La generación distribuida es hoy en día una realidad y que cada día ocupa una mayor proporción dentro de la generación en los sistemas de potencia a nivel mundial y se espera que se incremente. La causa de ello son sus beneficios. Tal vez el mayor de ellos es que se logra una dramática disminución en los costos de la energía motivado a los procesos de producción más eficientes, disminución de las perdidas en los sistemas de distribución, pero además mejoran la confiabilidad y calidad del servicio al tiempo que estas fuentes de generación que logran disminuir las emisiones contaminantes en gran forma.

Las tecnologías disponibles para la generación disminuida son muy variadas como se ha evidenciado en este trabajo. Algunas de estas fuentes que en pasado solo eran ideas experimentales vienen a proveer una energía más confiable, específicamente en aquellas áreas donde se requiere. En el presente los motores reciprocantes-generadores (primariamente manejados por diesel y derivados del petróleo) son la tecnología que se encuentra más madura y actualmente una de las mas comunes tecnologías FED, especialmente para aplicaciones de generación de *stand-by*, por su bajo costo, facilidad de instalación. Aunque lo motores reciprocantes crean una significativa contaminación (en ambos términos, emisiones y ruido) comparado con las tecnologías de gas natural y combustibles renovables. Recientemente, más limpios motores reciprocantes de gas han sido desarrollados para superar limitaciones ambientales. Actualmente las crecientes presiones ambientalistas globales, además de la mejora de tecnologías de producción han hecho que mecanismos como los sistemas de energía eléctrica solar (fotovoltaicos, PV) estén en aumento su participación en las FED, al igual que los sistemas eólicos, estos últimos en menor proporción por sus requerimientos especiales de localización. La más prometedora de las tecnologías es la celda de combustible, cuya eficiencia con aplicaciones de cogeneración, prometen superar los mecanismos tradicionales, siendo una seria promesa no contaminante y de electricidad a bajo costo.

XIII. REFERENCIAS

- [1] González, F. *Tecnologías de Microfuentes (Micro-Sources) disponibles actualmente para la Generación Distribuida (DG)*. Trabajo de Ascenso, UNEFA, 2002
- [2] Willis, H., Lee Scott., & Walter G. (2000). *Distributed Power Generation. Planning and Evaluation*. Marcel Dekker Inc.
- [3] Hunt, Sally and Shuttleworth, Graham. *Competition and Choice in Electricity*. (England, John Wiley & Sons, 1996).
- [4] CALIFORNIA ELECTRIC COMISION (2002). *Distributed Energy Resource Guide*. Disponible en: <http://www.energy.ca.gov/distgen/>
- [5] DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2002). Disponible en: <http://www.eren.doe.gov/>
- [6] LASSETER R., AKHIL A., y Otros. (2002). *Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS MicroGrid Concept*. Disponible en: <http://eetd.lbl.gov/ea/CERTS/>
- [7] U.S. Department of Energy. *Fuel Cell Handbook*. EG&G Services
Parsons, Inc. Science Applications International Corporation
- [8] STM Power's web site. Disponible en <http://www.stmpower.com/>
- [9] ATLANTIC ORIENT'S WIND POWER (2002). Disponible en: <http://www.aocwind.net/>