

ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE VIABILIDAD PARA LA
INTRODUCCIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN
EL SECTOR DOMÉSTICO DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

MARIO ALBERTO
ULLOA RAYGOZA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE VIABILIDAD PARA LA
INTRODUCCIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN
EL SECTOR DOMÉSTICO DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE

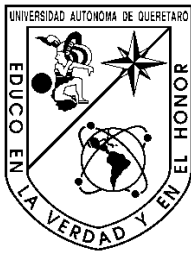
INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN

(SISTEMAS INDUSTRIALES)

PRESENTA

MARIO ALBERTO ULLOA RAYGOZA

C.U. SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. FEBRERO DE 2012



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Ingeniería en Automatización

ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE VIABILIDAD PARA LA INTRODUCCIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL SECTOR DOMÉSTICO DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero en Automatización (Sistemas Industriales)

Presenta:

Mario Alberto Ulloa Raygoza

Dirigido por:

M. en C. Ricardo Luna Rubio

M. en C. Ricardo Luna Rubio
Presidente

Firma

Dr. Gonzalo Macías Bobadilla
Sinodal

Firma

M. en C. José Luis Avendaño Juárez
Sinodal

Firma

M. en C. José Luis Rojas Rentería
Sinodal

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad de Ingeniería

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2012
México

**Estudio tecno-económico de viabilidad para la
introducción de fuentes de energía renovable en el
sector doméstico de la Ciudad de Querétaro**

por Mario Alberto Ulloa Raygoza

RESUMEN

El correcto uso y explotación de los recursos energéticos marcan la diferencia entre países desarrollados y países en vías de desarrollo. Los primeros, tuvieron una sobre explotación de recursos energéticos para alcanzar su actual desarrollo económico; sin embargo, este proceso de crecimiento acelerado provocó un impacto ambiental considerable debido a la explotación de combustibles fósiles, razón por la cual, hoy en día los países desarrollados promueven el uso de energías alternas para disminuir el daño causado al medio ambiente; los países que se encuentran en desarrollo tratan de balancear su crecimiento económico mediando la protección del medio ambiente con la continua explotación de recursos naturales no renovables. De manera adicional, debido al agotamiento de combustibles fósiles, el aumento en la población y la creciente demanda de energía eléctrica, no hay duda de que hoy en día la generación de energía eléctrica ha entrado en una nueva fase de su evolución, la cual se puede caracterizar principalmente por tres rasgos distintivos: una mayor preocupación sobre el cambio climático, una transición de una economía basada en hidrocarburos a fuentes de energía alternas, y un uso eficiente de energía. De acuerdo a esto el presente estudio se enfoca a la energía eléctrica contemplando su consumo y la manera que puede ser aprovechada, no sólo por un proveedor, sino también por los recursos renovables que la naturaleza nos proporciona, aplicando tecnología contemporánea y creando una cultura de calidad de vida, para mejorar como personas y tomarla como uno de tantos principios para ser un país en desarrollo. Adquiriendo datos mediante un analizador de energía, se hace una simulación que permite evaluar la inserción de fuentes alternas de energía en el sector eléctrico de México.

(Palabras Clave: sistemas híbridos de energía, estudios tecno-económicos, meteorología, recursos renovables y no renovables)

SUMMARY

The correct use and exploitation of energy resources set the difference among developed and developing countries. The first ones, they had an over-exploitation of energy resources in order to reach its actual economic development; nevertheless, accelerated growth process caused a significant environmental impact because of fossil fuels exploitation, for the reason of that, nowadays in developed countries the use of renewable energy sources is promoted in order to reduce the environmental impact. On the other hand, developing countries try to balance its economic growth balancing the environmental protection with the continuous exploitation of non- renewable resources. Additionally, due to the oil depletion, rising in population, and the growing electrical energy demand, there is no doubt that nowadays electrical power production has entered in a new phase of its evolution, which can be characterized mainly: an increasing concern about climate change, an economic transition from fossil fuel to a low-carbon economy, and an efficient use of energy. Taking into account the aforementioned, the present electrical energy study focuses in considering its consume and the way in which it can be used, not only by one supplier, even by the renewable resources available in environment, this by using modern technology and creating a life culture, this in order to reach a sustainable development. By acquiring energy data by means of a power energy analyzer, a simulation was carried out in order to evaluate the use of renewable energies in Mexican electrical sector.

(Key words: Hybrid energy systems, techno-economical studies, meteorology, renewable and non-renewable resources)

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios, a mi familia y amigos por el apoyo y las enseñanzas brindados a lo largo de mi vida.

M. en C. Ricardo Luna Rubio: director, asesor y amigo. Gracias por darme esta valiosa oportunidad de trabajar contigo y culminar esta etapa estudiantil.

Se agradece de manera especial a la Dra. Marina Herrera Pantoja Gerente de Hidroclimatología de la Comisión Estatal de Aguas (CEA) de Querétaro por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo.

Por último agradezco a los sinodales que en base a sus observaciones mejoraron el presente trabajo.

A mis hijos y sobrinos, al futuro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

<u>CONTENIDO</u>	<u>PÁG.</u>
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Energía y desarrollo sustentable	1
1.2 El sector energético y su importancia para el desarrollo económico.....	3
<i>Demanda final de energía</i>	6
1.3 Pico en la producción de petróleo.....	8
1.4 Calentamiento global	10
<i>Tendencias a Nivel Mundial</i>	10
1.5 Fuentes de energía eléctrica.....	12
<i>Energía no renovable (no variable)</i>	13
<i>Energía renovable: variable y no variable</i>	13
1.6 Transición Energética	14
<i>Eficiencia energética</i>	15
<i>Uso de fuentes de energía alterna</i>	15
1.7 Sector eléctrico Nacional.....	16
1.8 Hipótesis y objetivos.....	21
<i>Hipótesis</i>	21
<i>Objetivo general</i>	21

	<i>Objetivos específicos</i>	22
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1	Evolución tecnológica de fuentes alternas de energía	23
	<i>Energía solar</i>	23
	<i>Energía eólica</i>	26
2.2	Sistemas híbridos de generación de energía basados en fuentes alternas.....	30
	<i>Arquitectura general</i>	31
	<i>Modelo de los componentes de un sistema híbrido</i>	32
2.3	Herramientas computacionales para analizar la integración de fuentes alternas de energía.....	35
2.4	Indicadores tecno-económicos del desempeño de sistemas híbridos de generación de energía.....	35
	<i>Costo neto presente</i>	37
	<i>Factor renovable</i>	38
	<i>Tiempo de reembolso</i>	38
2.5	Diseño de sistemas híbridos de generación de energía.....	38
III.	METODOLOGÍA.....	41
3.1	Marco teórico.....	41
	<i>Recurso solar</i>	41
	<i>Irradiancia e insolación</i>	42
	<i>Efectos de atenuación</i>	43
	<i>Radiación directa, difusa y global</i>	44
	<i>Hora pico</i>	45
	<i>Trayectoria solar</i>	45
3.2	Desarrollo experimental.....	46
	<i>Fuentes de información</i>	47

<i>Disponibilidad de fuentes de energía renovables</i>	48
<i>Herramienta de software HOMER</i>	50
3.3 Configuración del sistema híbrido de generación y almacenamiento de energía eléctrica (SHGAEE) y restricciones de diseño	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1 Presentación de resultados	53
V. CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	59
APÉNDICE A	63
APÉNDICE B	65

ÍNDICE DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁG.</u>
1.1 Tipos de fuentes de energía.....	1
2.1 Capacidad eólica mundial instalada, 2009.....	29
3.1 Rangos de longitud de onda y color correspondiente.	42
3.2 Indicadores de la disponibilidad de energía eólica y solar para cada una de las localidades bajo el estudio	49
3.3 Modelos de convertidor considerados.	51
4.1 Configuraciones de SHGAEE optimizadas para el Estado de Querétaro considerando las restricciones de diseño especificadas.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁG.</u>
1.2 Energía primaria consumida en el mundo por región (Mtep).....	4
1.3 Distribución de fuentes de energía.....	5
1.4 Diagrama de participación de Generación de Energía en México.....	6
1.5 Evolución del consumo final de energía en el mundo.....	6
1.6 Participación de la Energía Renovable en el Consumo Final de Energía 2009.....	7
1.7 Participación de la Energía Renovable en el Consumo Final de Energía 2010.....	7
1.8 Modelo de Hubbert.....	9
1.9 División del mercado eléctrico de México (Luna-Rubio, et al., 2010).....	17
1.10 Consumo eléctrico por sectores en 2007.....	18
1.11 Consumo nacional de energía eléctrica, 1999 - 2009 GWh. *Para el año 2009, se incluye la energía vendida a costo cero a los empleados de la CFE, así como los usos propios facturados y locales de organismos. Fuente: CFE.....	19
1.12 Evolución histórica del PIB y consumo nacional de energía eléctrica (%), 1999 - 2009.....	20
1.13 Capacidad efectiva instalada nacional, 2009.....	21
2.1 Capacidad fotovoltaica acumulada mundial.....	26
2.2 Evolución histórica de la capacidad eólica mundial, 1996-2009.....	28
2.3 Distribución de la capacidad mundial por país, 2009.....	29
2.4 Arquitectura general de un sistema híbrido de generación de energía (Luna-Rubio, et al., 2010).....	30
2.5 Esquema representativo de fuente de energía renovable para bus de corriente alterna y directa.....	38
2.6 Aerogenerador, modelos AIR 403, utilizados en los sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos que ya funcionan con éxito.....	39
2.7 Panel solar fotovoltaico instalados en techos electrificados con el sistema híbrido descrito..	39

3.1 Espectro de radiación solar	41
3.2 Definición del concepto de masa de aire.	44
3.3 Movimientos de rotación y traslación de la Tierra.	46
3.4 Red de estaciones meteorológicas consideradas en el estudio (Luna-Rubio, et al., 2010).....	48
3.5 Perfil de carga promedio diario considerado como base para las simulaciones.	50
3.6 Diagrama de flujo de energía para la configuración de sistema a estudiar.....	51
4.1 A) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 12 kWh/d. B) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 8 kWh/d. C) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 4 kWh/d. (D) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas y los 3 consumos promedio de energía considerados.....	55

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Energía y desarrollo sustentable

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento.

En relación al área Tecno-económica, la energía se refiere a un recurso natural que se asocia a medios tecnológicos para extraerla, transformarla y transportarla para que tenga un uso en específico. La energía en sí misma, nunca es un bien para el consumo final, sino un bien intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios.

Es común clasificar las fuentes de energía de acuerdo al uso reversible de ciertas materias primas, o irreversible como combustibles o minerales radioactivos. Así encontramos que existen dos grupos de fuentes de energía explotables tecnológicamente:

Tabla 1.1 Tipos de fuentes de energía.

Energías renovables:	Fuentes de Energías no renovables:
<ul style="list-style-type: none"> • Energía eólica • Energía geotérmica • Energía hidroeléctrica • Energía solar fotovoltaica • Biomasa • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • Gas Natural • Petróleo • Energía atómica o nuclear, que requiere de Uranio o Plutonio.

Hoy en día, el 80% de la demanda de energía a nivel mundial es obtenida por medio de combustibles fósiles (Muller-Furstenberger, et al., 2007) y es bien sabido que es un factor vital para el desarrollo económico y social de cualquier país (Del Río, et al., 2008; Eastin, et al., 2010; Ockwell, 2008; Vasileiadou, et al., 2010). Dicho crecimiento viene acompañado por un incremento en la población, provocando un aumento considerable en su consumo, energía

eléctrica principalmente, una explotación mayor de hidrocarburos, como lo es el petróleo, cuyo agotamiento se propicia cada vez más e inevitablemente aumenta el daño ambiental con la producción de gases de efecto invernadero. Dada esta problemática, nace la necesidad de sustituir los medios de generación de energía en base a hidrocarburos, haciendo uso de recursos naturales, surge el concepto de energías renovables, principalmente las energías eólica y solar, con auge en los años 1970's dada la crisis de petróleo (Michalak, et al., 2011; Bazán-Perkins, et al., 2008).

La discusión energía alternativa - convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse en un futuro inmediato a nivel mundial. En esta fase evolutiva de la energía (Floyd, et al., 2010) no sólo basta con sustituir las fuentes no renovables por renovables, sino también de concientizar a la sociedad de su uso eficiente (Cinar, et al., 2010; Al-Saleh, 2009; Roth, et al., 2009; Bouffard, et al., 2008; Huacuz, 2005; Matutinovic, 2009; Midilli, et al., 2006; Arteconi, et al., 2009); y el hecho de realizar esta transición de forma suave y gradual, no quiere decir que se pueda continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. En consecuencia surge el concepto del Desarrollo Sustentable: un proceso dinámico que permite a las personas darse cuenta de su potencial y mejorar su calidad de vida, protegiendo y mejorando a la vez el proyecto de vida de la Tierra. Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:

- Hacer uso eficiente de energía eléctrica (desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético (Sioshansi, 2010; Kammen, 2010) y optimizar diseños que puedan ser establecidos dentro del desarrollo urbano (autoconsumo) por medio de fuentes de energía renovable (Gugliermetti, et al., 2006; Kämpf, et al., 2009; Kolokotsa, et al., 2010; Luna-Rubio, et al., 2009; Di Stefano, 2000; Wong, et al., 2008).
- La disminución de la demanda energética, mediante la mejora de instalaciones eléctricas, así como del rendimiento de dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)

Esta fase de evolución parece ser un poco complicada por el tiempo que tardaría en implementarse en su totalidad (Devesas, et al., 2008; Sovacool, 2010). Es por ello que un punto intermedio más cercano es la introducción de *Sistemas Híbridos*, que *son aquellos que incluyen dos o más fuentes energéticas*, sin importar su procedencia, *para abastecer una demanda*

particular de energía (Luna-Rubio, et al., 2010), esto se puntualizará en el Capítulo II; estos sistemas podrán presentar un costo menor y ser más confiables. Aunque, por otro lado, la variación respecto a su constancia deberá ser un factor a considerar (Dalton, et al., 2009; Celik, 2003).

1.2 El sector energético y su importancia para el desarrollo económico

Durante mucho tiempo, las únicas fuentes de energía han sido la fuerza muscular del hombre o de los animales y la fuerza del viento o del agua. En el S. XVII se añadió a estas el carbón, y en el S. XIX el petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica; finalmente, en la segunda mitad del siglo pasado, la energía nuclear. Según la disponibilidad de energía se impulsa o frena el desarrollo económico de un país, pero no importa la cantidad que se utilice para ello ya que no está directamente en función de su producción interna o de la presencia de yacimientos minerales, sino más bien de la requerida y que gracias al comercio internacional de productos energéticos, sobre todo el petróleo, puede ser abastecida.

El índice de consumo energético por habitante permite establecer comparaciones de potencia económica y nivel de vida. La energía por habitante se expresa en TEC (tonelada de energía consumida), que es la unidad común empleada para medir las distintas clases de energía. En EUA el consumo es de 8.3 TEC/hab; en Canadá es de 6 TEC/hab; en Rusia es de 3.1 TEC/hab y en España 1.4 TEC/hab. En el total mundial, la fuente de energía más importante es el carbón, que representa el 44%; le siguen el petróleo (33%), el gas natural (14%) y la energía hidroeléctrica (9%). Estas proporciones han variado radicalmente hasta finales del siglo pasado, sobre todo la importancia del carbón, que en 1920 representaba el 83% de la energía utilizada. (Ver Figura 1.1, expresado en millones de toneladas de energía primaria generada).

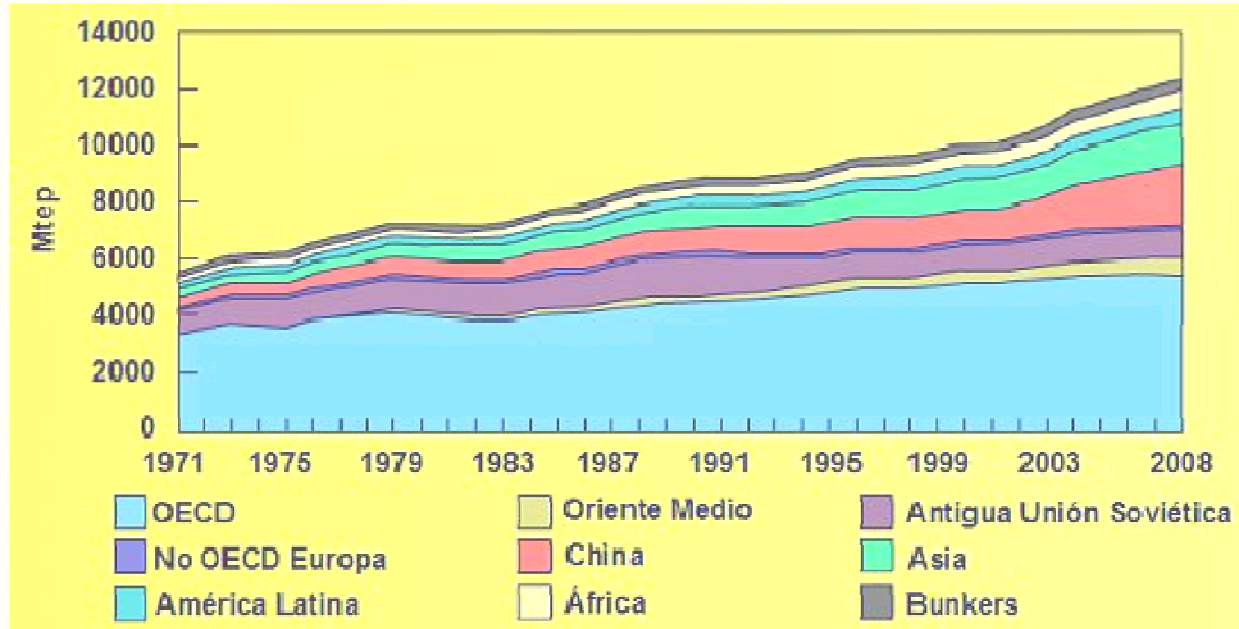


Figura 1.1 Energía primaria consumida en el mundo por región (Mtep).

Entonces, en la actualidad el Sector Energético de un país está conformado por cinco ramas principalmente: Petróleo, Petroquímica, Gas Natural, Energía Eléctrica y la más reciente, Energía Alterna; existiendo un estrecho vínculo entre ellas: es difícil planear el desarrollo de energía eléctrica si no se considera al sector energético en su conjunto.

En 2008 el consumo mundial de energía eléctrica ascendió a 16,816 TWh, cifra 2.0% superior al valor registrado en 2007. En su mayor proporción, el crecimiento del consumo eléctrico se registra en las economías en transición, las cuales continuarán demandando energía eléctrica a mayores tasas que en los países desarrollados. En cuanto a la capacidad instalada, las centrales termoeléctricas convencionales mantienen la mayor participación, a excepción de algunos países como Francia, o donde la energía nuclear predomina, o Canadá, Brasil y Noruega, donde las centrales hidroeléctricas concentran la mayor participación.

En el caso del carbón, dada la menor volatilidad en sus precios y su mayor disponibilidad respecto a otros combustibles fósiles, se estima que su utilización seguirá creciendo en diversos países, especialmente en China, India y EUA, mientras que el consumo de gas natural continuará aumentando inversamente al comportamiento esperado en el consumo de derivados del petróleo, cuya participación en la generación mundial de energía eléctrica se

reducirá debido a razones de sustentabilidad ambiental. Como un frente más dentro de las estrategias mundiales ante el cambio climático, países como China, India, Rusia, Francia, Japón, Finlandia, Corea del Sur, entre otros, están construyendo nueva capacidad de energía nuclear que contribuye a evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Asimismo, en Europa y en Estados Unidos de América se encuentra el liderazgo internacional en cuanto al impulso a las fuentes renovables como la eólica.

En México, la estructura energética está conformada principalmente por: carbón, petróleo (crudo y condensado), gas natural, energías: nuclear, acuífera, geotérmica, eólica y biomasa. En cuanto a las principales energías secundarias se tienen combustibles y gases licuados derivados de petróleo: gasolina, keroseno, naftalina, diesel, gasóleo, gas seco y energía eléctrica (Figura 1.2). Éstas energías son utilizadas para satisfacer la necesidad de los diferentes sectores de consumo (residencial, comercial, industrial y transportista) (Cancino-Solórzano, et al., 2010).

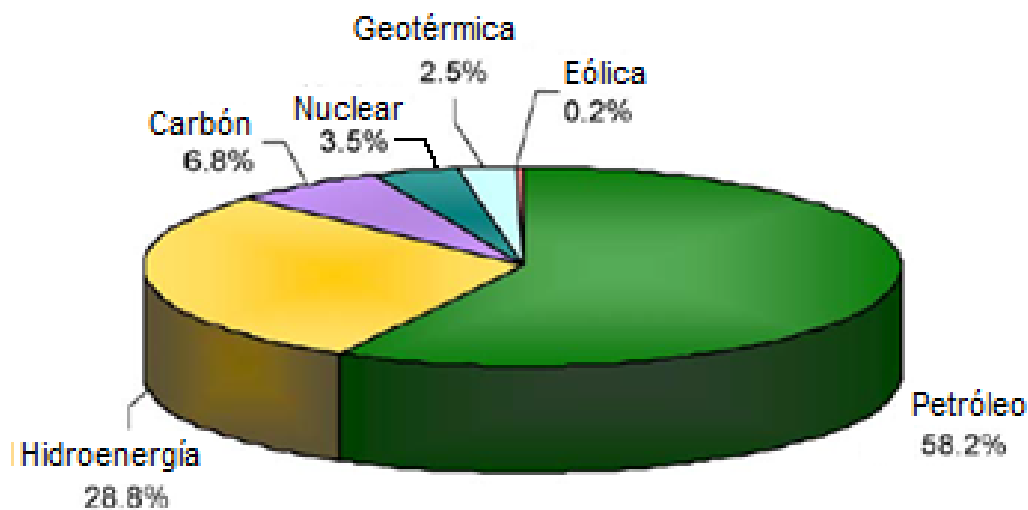


Figura 1.2 Distribución de fuentes de energía.

Con lo que respecta al consumo eléctrico en México, en el año 1992 se permitió mediante la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica la participación de inversionistas privados extranjeros para instalaciones que requirieran un consumo mayor a 30 MW, quedando conformado el suministro de energía eléctrica, hasta el 2008, como se muestra en la Figura 1.3:

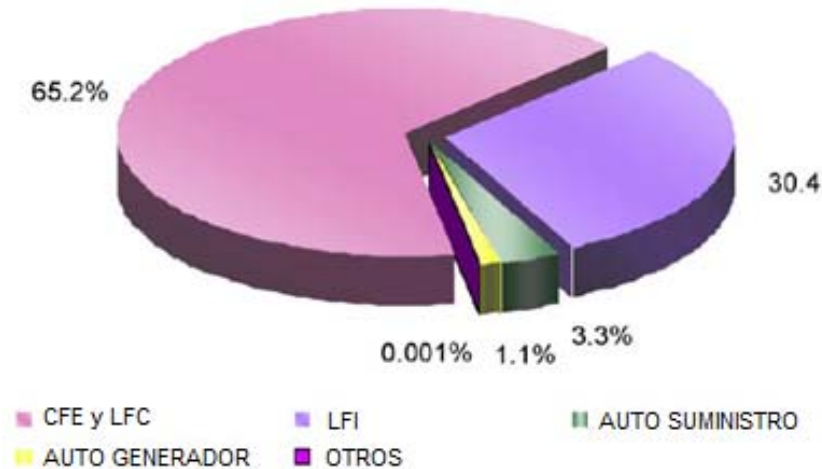


Figura 1.3 Diagrama de participación de Generación de Energía en México.

Demanda final de energía

Se está viviendo un incremento del consumo eléctrico insostenible (Figura 1.4). Entre los factores que impulsan a acrecentar el consumo de energía se puede mencionar el crecimiento de la población y el ingreso per cápita, la migración hacia las zonas urbanas, el interés en seguir ampliando la frontera eléctrica, la búsqueda de una mejor calidad de vida, la aplicación cada vez mayor de productos y tecnologías de uso intensivo de energía, etc.

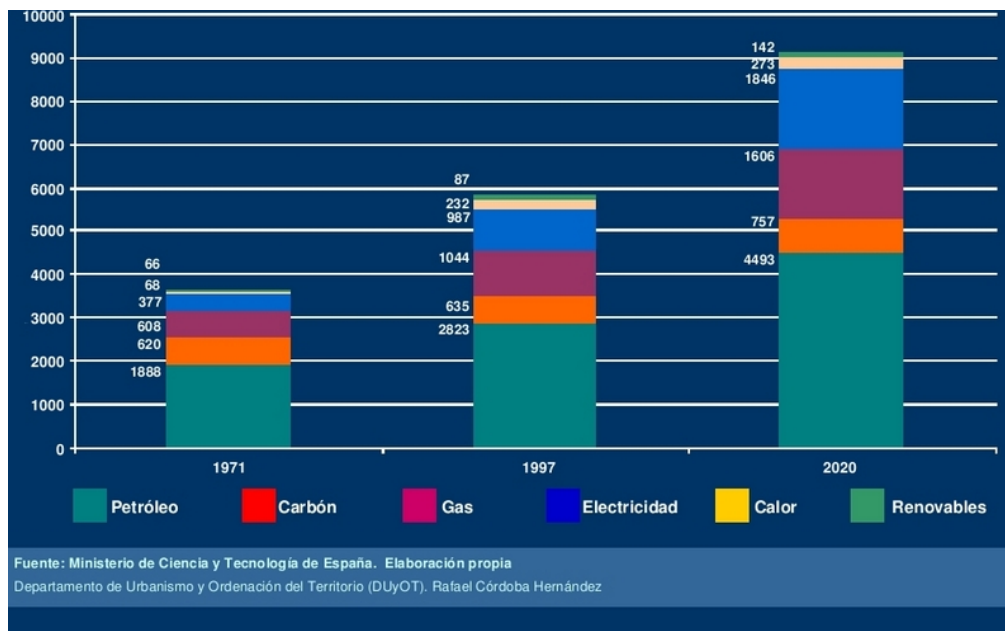


Figura 1.4 Evolución del consumo final de energía en el mundo.

El consumo mundial de energía en el transcurso del año 2010 tuvo un crecimiento del 5.4%, rebasando la media que se ha tenido históricamente, no comparada con la baja del año 2009. No obstante, la energía renovable ha tenido un crecimiento hasta cierto punto constante, detectándose un suministro estimado del 16% para el 2009 (Figura 1.5) y del 20% para el 2010 de la energía total global consumida.

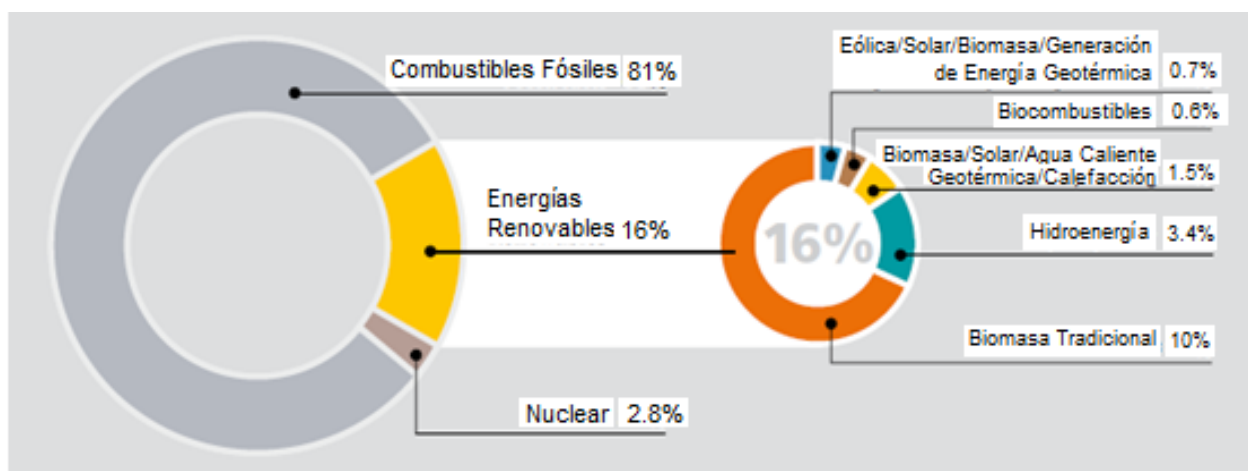


Figura 1.5 Participación de la Energía Renovable en el Consumo Final de Energía 2009.

Ya son varios países que presentan un rápido crecimiento y participación en el suministro de energía por medios renovables. A finales del 2010 (Figura 1.6), 118 países cuentan con políticas energéticas que impulsan el uso de fuentes de este tipo, a comparación del 2005 cuando solo 55 países contaban con dichas políticas.

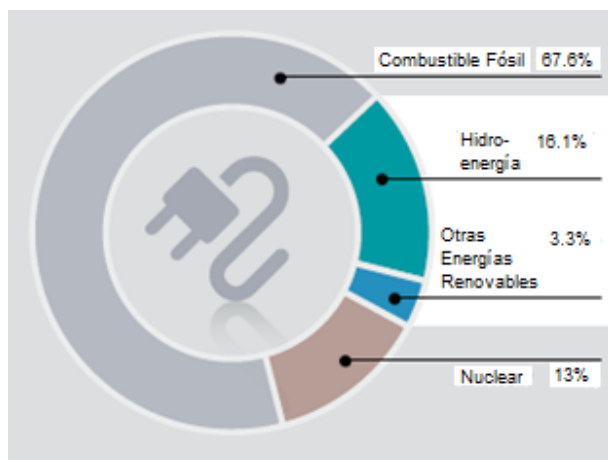


Figura 1.6 Participación de la Energía Renovable en el Consumo Final de Energía 2010.

1.3 Pico en la producción de petróleo

El petróleo es la fuente principal de energía de la civilización moderna: alimenta los medios de transporte, es base de la alta producción agrícola y dentro de su amplio rango de uso es ingrediente en la elaboración de productos en la industria como lo son: metal-mecánicos, farmacéuticos, plásticos, electrónicos, etc. Por tanto, es considerado “el alma” de la civilización industrial.

Asuntos relacionados con explotar y salvaguardar el petróleo, así como introducirlo a un precio accesible en los mercados del mundo, son temas que tienen una importancia primordial y que llaman la atención de geólogos, economistas y científicos-políticos. Sus campos de estudio muestran complejidad según los sistemas sociales y naturales donde se efectúen, más no se ha acordado la cuestión principal: cuál es la tendencia de la curva de extracción de petróleo, y a qué precio se pagará los daños irreversibles a la economía mundial y al consumidor final.

Es un asunto controversial el saber que, según la Agencia Internacional de Energía, las reservas estimadas de petróleo oscilan entre los 3.5 trillones de barriles a nivel mundial; esto es por lo que se ha consumido desde su descubrimiento como fuente de energía, la actual desmedida producción y por los escasos futuros yacimientos que puedan existir. De igual manera, es difícil determinar un modelo exacto que presente una curva y el tiempo que tardará en alcanzar su punto máximo de explotación (Witze, 2007), llegue al límite y empiece a declinar hasta que por fin se agoten las últimas reservas.

La Campana de Hubbert (Figura 1.7), modelo introducido por King Hubbert en 1956 para calcular acertadas predicciones sobre el límite de explotación (peaking) del petróleo en EUA, muestra como rasgo clave la simetría en fases de extracción antes y después del pico: al obtenerse el recurso crece de manera exponencial, llega a la cúspide, y declina a lo largo de la misma pendiente, también exponencialmente. Esta teoría ha sido refutada respecto a este último punto ya que no se cree que el decline sea con esa pendiente, más bien en fases.

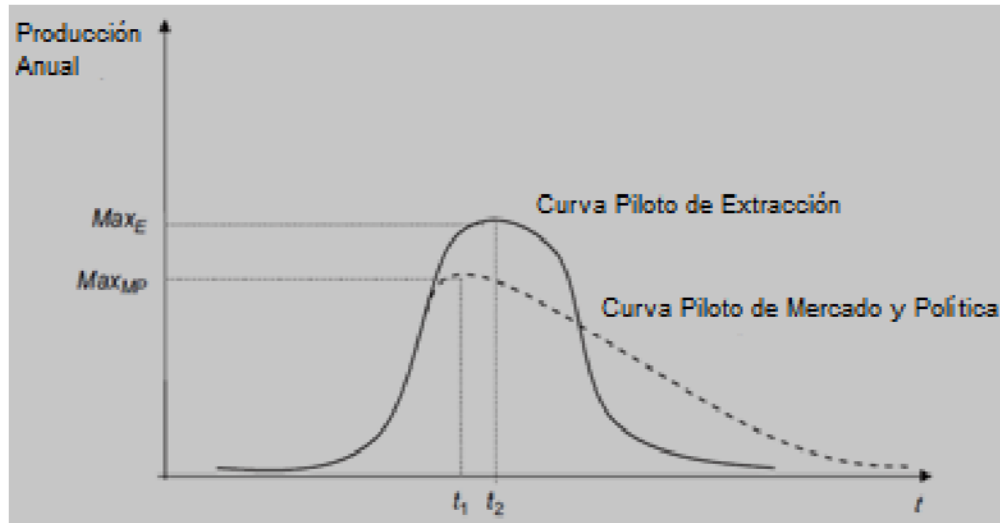


Figura 1.7 Modelo de Hubbert.

Explicación: Dos perspectivas dinámicas de la explotación del petróleo. Nótese que la curva con línea sólida representa el modelo de Hubbert de la explotación de las reservas a nivel mundial denominándose la curva de “manejo de extracción”; mientras que la curva con línea punteada denota el “manejo mercantil y político” de explotación. Anualmente se registran billones, pero las curvas no hacen referencia a alguna cantidad en particular del petróleo que se recupere, solo son modelos estilizados de explotación alterna, o bien, fuentes dinámicas. No se especifica el tiempo de escala, y la diferencia entre t_1 y t_2 no debería ser trivial, en un rango de 20 o 30 años. Las áreas bajo ambas curvas debería ser igual como la producción acumulada que representan en ambos casos.

Como posible solución a esta controversia, se habla nuevamente de una transición energética: proceso a civilización post petróleo que cambiará el comportamiento en el consumidor, haciendo adaptaciones globales institucionales y tecnológicas que se deberán implementar para ajustarse a este cambio, bajo las siguientes premisas:

- Re – direccionamiento de subsidios destinados a la industria petrolera a fuentes de energía alterna y tecnologías de ahorro de energía.
- Mejorar infraestructura de transportación masiva vía inversiones públicas y extensión de subsidios al transporte público.
- Invertir en infraestructura de recarga para vehículos híbridos y con la opción de ofrecer concesiones o operadores privados.

- Proveer estímulos fiscales a compañías que suministren nuevas generaciones de vehículos de transporte.

1.4 Calentamiento global

La atmósfera terrestre es la capa más externa y menos densa de la Tierra. Los gases que la constituyen varían en cantidad y presión por las diferentes alturas en que se encuentran. Su mezcla recibe genéricamente el nombre de aire; protege la vida del planeta, absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, y actuando como escudo protector contra meteoritos.

El comportamiento del clima actual, comparado con el de los dos siglos pasados, demuestra que el calentamiento de la Tierra está por encima de su ciclo natural de la fluctuación de temperatura. Científicos atribuyen este calentamiento al incremento substancial de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. Si la atmósfera puede ser vista como un “tazón” con una capacidad de acumulación limitada de gases, la adición de gases de efecto invernadero crea un reflejo que hace regresar a la superficie el calor del Sol que ordinariamente debiera ser disperso fuera de ésta, derritiendo icebergs polares y glaciales, y elevando la temperatura global a niveles que difícilmente se pueden soportar en los lugares más habitados de la Tierra. Dado que la divergencia climática está correlacionada con la industrialización, la explotación mundial demográfica, el enorme incremento de extracción de recursos naturales y el crecimiento de las economías, éstas son consideradas como fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y, por tanto, nuevamente se piensa que toda actividad humana es una traba que socava el balance sistemático natural (Eastin, et al., 2010).

Tendencias a Nivel Mundial

Durante los últimos tres años se ha presentado un incremento en la gráfica que respecta al cambio climático, según diferentes medios de información (Boykoff, 2008). Por ello y de acuerdo con diversos reportes, el reto importante es establecer políticas globales que conllevará muchos aspectos, entre los que destacan:

1. Un desafío a la ciencia por el tamaño y la complejidad del problema con lo que respecta a los cambios Físicos que ha estado presentando nuestro medio ambiente, y
2. En segundo lugar, se mencionará la postura ante problemas de acción colectiva, enfocado a políticas públicas.

Este debate se debe a que representantes gubernamentales parecen asumir, incorrectamente, la importancia que se le debe dar al cambio drástico del clima, cuestión suficiente para ofrecer respuestas a la sociedad. Esta ignorancia fundamental de políticos, junto a consumidores con poder económico entre las principales potencias mundiales como lo son Europa, Norteamérica, o aquellas que se encuentran en desarrollo (Brasil, India, Rusia y China), se resisten a la presión ejercida tanto por el mismo medio ambiente como por quienes no disponen de recursos, posponiendo el cambio.

Se toma como referencia el reporte “Límites de Crecimiento” del Club de Roma, una asociación no gubernamental formada en 1968 por Aurelio Peccei (Italia) y Alexander King (Escocia), cuyo objetivo era reunir líderes profesionales en diversos campos de estudio para investigar y debatir sobre grandes cambios, específicamente asociados con recursos naturales y medio ambiente, que enfrenta la humanidad en un mundo independiente. Este reporte tuvo gran impacto internacional en campos políticos, económicos y científicos (principalmente durante la crisis del petróleo de los 1970's) ya que demostró la contradicción de lo que normalmente se pensaba acerca de que los recursos naturales eran ilimitados y con crecimiento sin restricción alguna, en un mundo que claramente tiene recursos finitos, convirtiéndose en un tema de consideración mundial.

“Límites de Crecimiento” tuvo una orientación técnica, empleó aproximaciones dinámicas del sistema para proyectar los límites superiores de la capacidad del desarrollo humano, examinando la interacción de cinco factores: explotación demográfica, producción agrícola, agotamiento de recursos no renovables, producción industrial, y contaminación generada.

Con el respaldo de este reporte, el cambio climático es claramente el reflejo del desarrollo potencial de las economías mundiales, la literatura del cambio climático se enfoca en los límites impuestos por la capacidad de absorción del medio ambiente. El agotamiento de los

recursos son un factor limitante y las políticas implicadas para los dos tipos de límites son diferentes, con la desventaja de la mitigación sobre el cambio climático (Eastin, et al., 2010).

1.5 Fuentes de energía eléctrica

Por su alto nivel de integración, los sistemas de suministro de energía centralizada son vulnerables a alteraciones dentro de su cadena – ciclo. En el caso especial de la electricidad, este paradigma de suministro está perdiendo algunas de sus características por un gran número de factores agravantes como el agotamiento de combustibles fósiles y el impacto que conlleva en el cambio del clima; estas inseguridades afectan la infraestructura del transporte de energía y aumenta el deseo de inversionistas en minimizar riesgos a través de la utilización de sistemas de transmisión y generación modular a pequeña escala.

En los sistemas de pequeña escala la producción de energía y su consumo están estrechamente arraigados, ya sea de manera emergente o como una alternativa viable. Estos sistemas son menos sensibles a la indisponibilidad de energía primaria remota y a las redes de transportación, inclusive algunas veces pueden usar más de una fuente de energía. Esta estrecha conexión entre generación y uso, hace a los sistemas descentralizados más limpios ya que se basan en energías renovables o en tecnologías basadas en combustible fósil de alta eficiencia tales como la combinación de calor y potencia (CHP, por sus siglas en inglés).

No es posible tener un suministro de energía totalmente descentralizado. En el futuro, los sistemas de energías limpias y puras serán más flexibles y permitirán modos híbridos de operación e inversión, combinando los mejores atributos de ambos paradigmas. Una gran parte de esta flexibilidad vendrá de las redes que harán posible combinar estos dos tipos de infraestructura y obtener los beneficios de ambas propuestas.

Energía no renovable (no variable)

Como ya se ha mencionado, las fuentes de energía son de dos tipos: no renovables y renovables. Las primeras son consideradas así porque no pueden reponerse, ó volver a crearse, en un corto periodo de tiempo.

Las cuatro energías no renovables usadas normalmente son:

- Petróleo y sus derivados (gasolina, diesel, propano).
- Gas natural.
- Carbono.
- Uranio (generación de energía nuclear).

Las fuentes de energía no renovables provienen de la tierra en forma de líquidos (como el petróleo), gases (natural y propano) y sólidos (como lo el carbono). Son conocidos también como combustibles fósiles dado que se formaron por los restos enterrados de plantas y animales que vivieron hace millones de años; a excepción del Uranio, que es un mineral que también se extrae de la tierra, de minas (por tanto es no renovable).

Mientras existan yacimientos que permitan su explotación, transformación y uso, son elementos que constantemente proporcionan energía con un proceso establecido según las diferentes necesidades de consumo final, tal vez mejorado para aprovechar dichos recursos, teniendo la propiedad de no variabilidad, al menos, hasta no provocar su agotamiento total.

Energía renovable: variable y no variable

A diferencia de los combustibles fósiles, que son limitados, las fuentes de energía renovable pueden ser sostenidas y regenerarse indefinidamente. Las cinco fuentes renovables más utilizadas son:

- Biomasa (incluye madera y sus residuos, residuos sólidos y gases despedidos por basureros municipales, biogás, etanol y biodiesel)
- Acuífera (hidroeléctrica)
- Geotérmica

- Eólica
- Solar

El uso de energía renovable no es nuevo. Hace más de 150 años, la madera suministraba el 90% de la energía requerida por el ser humano y fue siendo sustituida por las energías que fueron emergiendo.

Más de la mitad de la energía renovable es utilizada para la generación de electricidad. Su segundo uso más importante es la generación de calor (calefacción en hogares) y vapor (con propósitos industriales) por medio de biomasa que también incluye biocombustibles (usados también para medios de transporte).

La no variabilidad de este tipo de energías está relacionada directamente con el medio ambiente, jugando un papel importante mientras sean usadas: reduce la demanda de combustibles fósiles y evita la emisión directa de gases de efecto invernadero.

Su variabilidad está relacionada al costo de producción y uso, ya que en el pasado la energía renovable era más cara que los combustibles fósiles: por lo general, los recursos renovables están localizados en áreas remotas y por consiguiente resulta costoso construir líneas de alimentación a ciudades que necesiten de la energía (eléctrica principalmente). Y, por último, su uso es limitado por el factor que no siempre está disponible, por ejemplo: si el clima es nublado, se reduce la energía solar; en días tranquilos, sin viento, se reduce la energía eólica; las sequías afectan la disponibilidad de agua necesaria para las hidroeléctricas.

1.6 Transición Energética

El énfasis mundial que ha estado teniendo el concepto de Desarrollo Sustentable en los últimos tiempos, trae consigo la planeación de la utilidad de la energía, donde tradicionalmente los encargados tienen interés en la determinación del tipo, tamaño y fechas comisionadas para evaluar el costo de la energía requerida en plantas industriales, principalmente (Luss, 1982). La fluctuación de éste costo está relacionado con asuntos de seguridad ambiental y eléctrica, por lo que en las últimas ha evolucionado el tradicional concepto de energía en una Planeación de Recursos Integrados (IRP, por sus siglas en inglés), cuyo enfoque puede ser introducido como

una consideración explícita de la eficiencia energética, programas de manejo de carga, participación pública y factores ambientales (Hirst, et al., 1991).

Eficiencia energética

Un gran número de modelos IRP han sido aplicados para la optimización de la utilidad eléctrica según las opciones de suministro y demanda de energía con el propósito de permitir a los usuarios un aprovechamiento eficiente de la capacidad de su generación a un costo mínimo. Éste aprovechamiento es/será obtenido cuando la curva de la demanda de carga coincida con la disponibilidad de fuentes de energía. Generalmente esta curva tiene picos y valles que varían temporalmente, o bien, según el día (clima), lo cual puede ser una barrera para el desperdicio de capacidad instalada las veces que se presenten picos. La curva tendrá un comportamiento estable contra tiempo conforme las utilidades traten de regular la carga por medio de la combinación de las diversas opciones tanto de suministros como demanda de energía (Dincer, et al., 2005).

Uso de fuentes de energía alterna

La sustentabilidad ha sido llamada la Llave Solución de los actuales problemas ecológicos y de desarrollo económico. Para el Desarrollo Sustentable, las fuentes de energía alterna juegan un papel importante: sabiendo los requisitos de energía tanto en industria como en aplicaciones locales, se está dando prioridad al desarrollo y utilización de estrategias y tecnología de estas fuentes, por lo que el conocimiento de ellas crece rápidamente alrededor del mundo; no sólo para países industrializados, sino también para los que están en vías de.

Las tres razones principales por las que las fuentes de energía alterna y su tecnología son elementos clave para el Desarrollo Sustentable son:

- Tienen un impacto ambiental menor al de otros tipos de energía y proporcionan una estructura flexible para sus diferentes usos.
- Cuando se sabe usarlos apropiadamente proveen credibilidad y efectiva sustentabilidad indefinidamente, sin tener que preocuparse de su agotamiento.

- Están a favor de la descentralización del Sistema Eléctrico y solución a problemas locales, algo independientes de la red nacional, mejorando la flexibilidad del Sistema proveyendo beneficios económicos a pequeñas poblaciones aisladas. También, el diseño de la tecnología aplicada a pequeña escala reduce el tiempo de inicio de operación y se adapta a responder ante un cambio impredecible o según la demanda de energía.

Así, el uso tecnológico de energía alterna es necesario para el desarrollo sustentable y minimizar los disturbios globales.

1.7 Sector eléctrico Nacional

En México, el sector eléctrico se encuentra dominado por el monopolio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El mercado eléctrico nacional se encuentra dividido en 5 grandes zonas. Por otro lado, los consumidores de energía eléctrica se clasifican en 5 grupos o sectores: doméstico, comercial, agrícola e industrial. De acuerdo con el Sistema de Información Energética (SIE), el sector doméstico representa el segundo sector con mayor demanda al registrar en 2009 un 28% del total de ventas de energía eléctrica reportadas por CFE. Por otro lado, éste es el sector que mayor número de clientes tiene al representar un 88% de los contratos registrados.

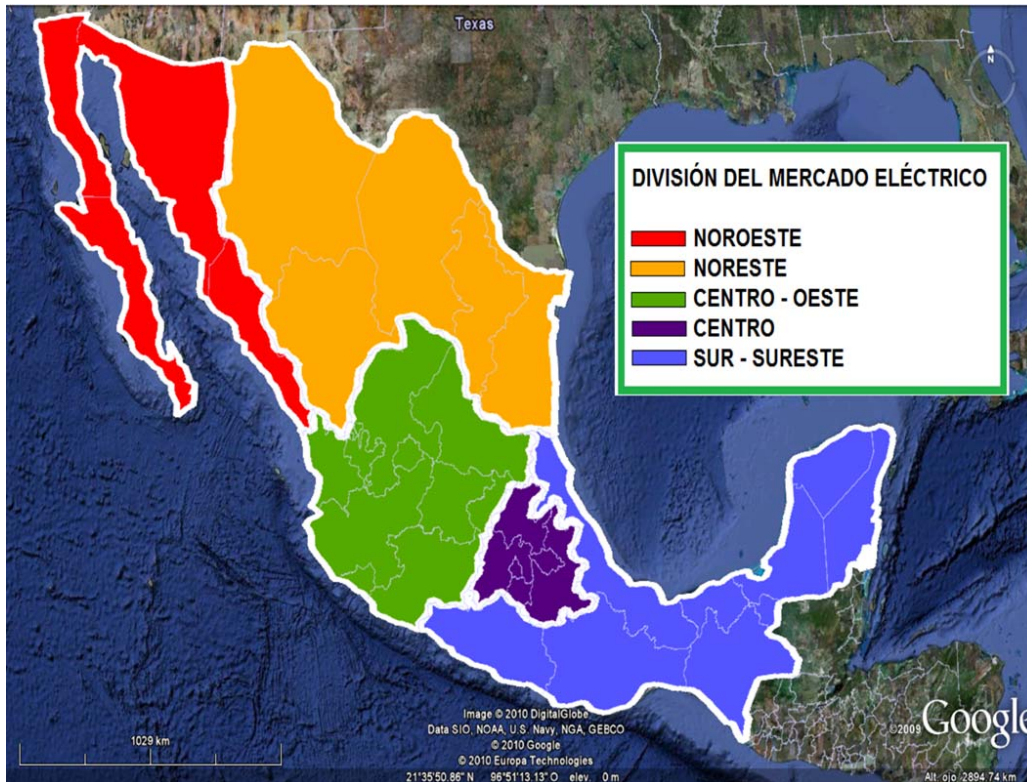


Figura 1.8 División del mercado eléctrico de México (Luna-Rubio, et al., 2010).

En México, en el 2007 se tuvo un consumo aproximado de 187.5 TWh a nivel nacional (ver Figura 1.9), donde el sector doméstico participó con 45.83% en usos principales como calentar comida y agua, clima e iluminación. El sector comercial o de servicios tuvo una demanda del 3.8%. El principal consumidor durante este año fue el sector industrial con un consumo de 46.07%, sin importar que algunas compañías generen su propia electricidad. Y por último, el sector agrícola consumió el 4.3% en actividades correspondientes a la agricultura y crianza de ganado (Cancino-Solórzano, et al., 2010).

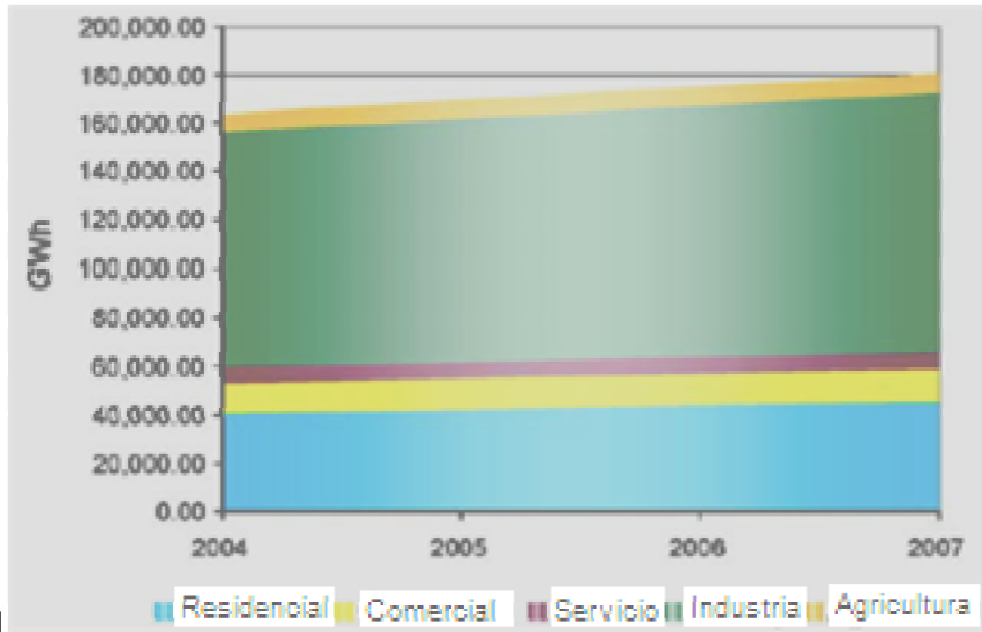


Figura 1.9 Consumo eléctrico por sectores en 2007.

Como reflejo de la recesión económica de 2009 y primera variación negativa en 10 años (ver Figura 1.10), el consumo nacional de energía eléctrica (206.263 TWh) decreció en 0.8% respecto al 2008 (en el mismo sentido pero en mayor magnitud, la economía decreció en -6.5% respecto al año previo a la crisis). Los sectores que redujeron en mayor magnitud su consumo fueron la gran y mediana empresa, seguidos por el sector comercial que registró una ligera disminución de alrededor de un punto porcentual. Por el contrario, el sector residencial mantuvo un dinamismo importante al registrar un incremento superior al 3%. Asimismo, la participación del autoabastecimiento en el consumo nacional de energía eléctrica no ha aumentado sustancialmente desde 2002, año en que entraron en operación importantes sociedades de autoabastecimiento y cogeneración en el norte del país.

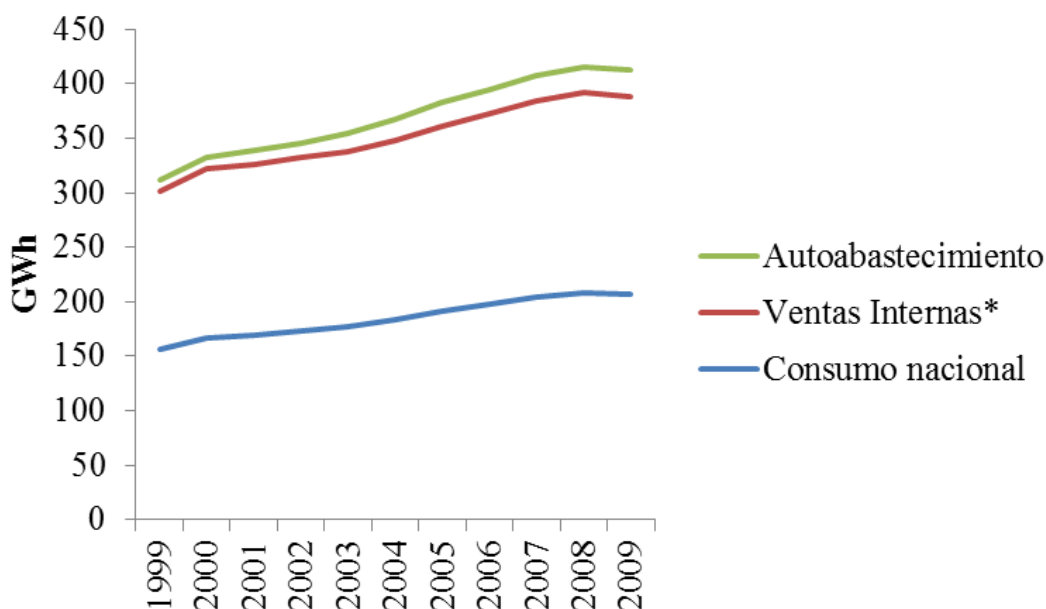


Figura 1.10 Consumo nacional de energía eléctrica, 1999 - 2009 GWh. *Para el año 2009, se incluye la energía vendida a costo cero a los empleados de la CFE, así como los usos propios facturados y locales de organismos. Fuente: CFE.

El consumo nacional de energía eléctrica se integra por dos componentes:

- 1) Las ventas internas de energía eléctrica, las cuales incluyen la energía entregada a los usuarios a partir de recursos de generación del servicio público, (incluyendo la electricidad generada por los productores independientes de energía), y
- 2) El autoabastecimiento, que abarca a los permisionarios de autoabastecimiento, cogeneración, usos propios continuos, pequeña producción e importación de electricidad.

En términos generales, el consumo de energía eléctrica tiene una correlación positiva con el ritmo de la actividad económica, lo cual implica que ante la variación anual en el PIB, el consumo de energía eléctrica experimenta un comportamiento en la misma dirección, aunque no necesariamente en igual magnitud (véase Figura 1.11). La crisis económica de 2009 ilustra dicha relación.

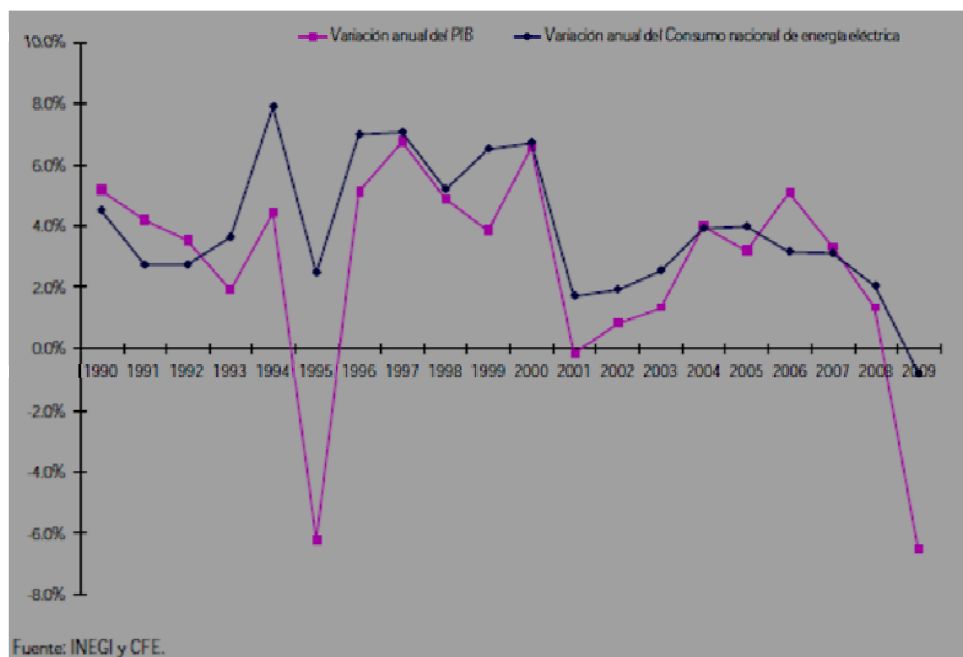


Figura 1.11 Evolución histórica del PIB y consumo nacional de energía eléctrica (%), 1999 - 2009.

Desde el punto de vista del destino final de la energía eléctrica generada, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) está conformado por dos sectores, el público y el privado. El sector público se integra por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y las centrales construidas por los Productores Independientes de Energía (PIE), los cuales entregan la totalidad de su producción eléctrica a CFE para el servicio público. Por otro lado, el sector privado agrupa las modalidades de cogeneración, autoabastecimiento, usos propios continuos, pequeña producción, importación y exportación. De estas modalidades, el autoabastecimiento tiene una fuerte presencia en diversos sectores, como el industrial, comercial y, particularmente, en el sector servicios, donde se ha registrado un importante incremento en el número de permisos y capacidad instalada durante los últimos años.

En términos de participación, durante el 2009 CFE representó 64.4%, la extinta LFC 2.2% y los PIE 19.2% del total instalado (véase Figura 1.12). El sector privado, bajo las figuras de autoabastecimiento y cogeneración, contribuye con 6.9% y 4.6% respectivamente, mientras que la capacidad instalada para fines de exportación de electricidad representa 2.2%.

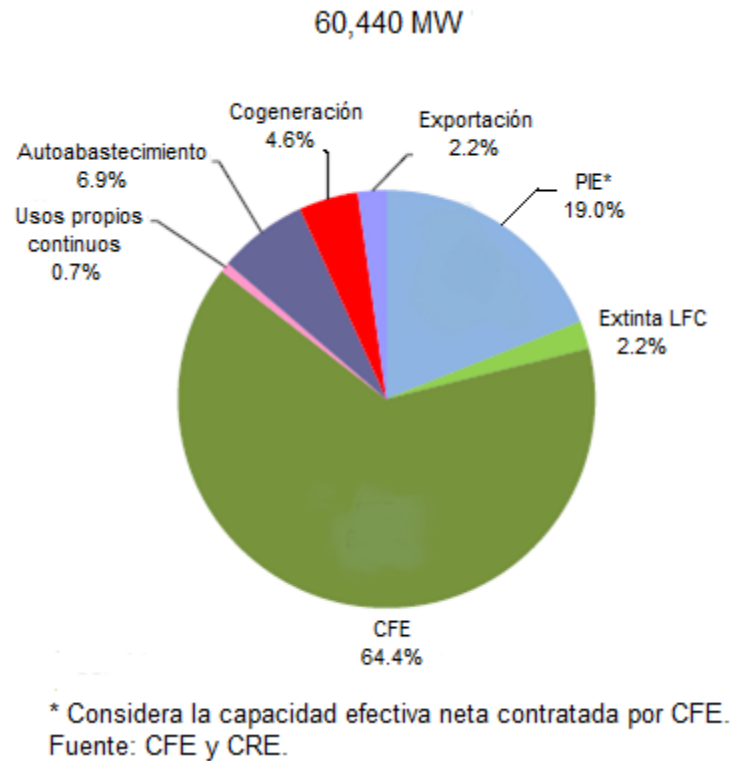


Figura 1.12 Capacidad efectiva instalada nacional, 2009.

1.8 Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Existe algún tipo de Sistema Híbrido mediante el cual sea posible disminuir el suministro de energía eléctrica proporcionado por la CFE, basándose en el uso de energías renovables como lo son las energías eólica y/o solar.

Objetivo general

Realizar un estudio tecno-económico sobre la viabilidad de sistemas de generación de energía eléctrica basados en fuentes alternas, que sean capaces de cubrir las demandas de energía de usuarios del sector doméstico de la Ciudad de Querétaro.

Objetivos específicos

- Proponer un medidor de parámetros eléctricos portátil con capacidad de almacenamiento de datos (Ver Apéndice B).
- Crear una pequeña base de datos sobre el perfil de carga eléctrica de usuarios del sector doméstico de energía eléctrica para el municipio de Querétaro.
- Realizar un estudio tecno-económico sobre la viabilidad de sistemas de generación de energía eléctrica basados en fuentes alternas considerando 3 perfiles de carga (bajo, medio y alto) de usuarios del sector doméstico de Querétaro.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Evolución tecnológica de fuentes alternas de energía

El uso de fuentes de energía renovable ha estado presente de manera cotidiana, desde tiempos antiguos, sin emplear tecnología compleja y costosa; empezando con el fuego, que fue la primera gran invención de la civilización, teniendo como combustible principal la madera (biomasa), y de igual manera, el uso de la energía acuífera data de hace 2000 años aproximadamente para la molienda de granos en Grecia.

Entre los Siglos XVIII y XX, energías como la Geotérmica (1760-70, Máquina de vapor, Revolución Industrial), el Etanol (1826, desarrollo de motores, S. Morey), la Solar Térmica (1860, conversión de radiación solar en energía mecánica, Auguste Mouchout) y el desperdicio sólido municipal (1970, sistemas de combustibles derivado de residuos y pirolisis) entre otras, fueron descubiertas pero sin el debido enfoque en el seguimiento de su investigación ó, en ese entonces, con la debida importancia que se le da hoy en día: no se hablaba de un Desarrollo Sustentable. A partir de los '70, la humanidad empezó a darse cuenta de que muchas de sus acciones producían un gran impacto sobre la naturaleza, por ello algunos especialistas señalaron la evidente pérdida de la biodiversidad y elaboraron teorías para explicar la vulnerabilidad de los sistemas naturales.

Energía solar

El sol ha producido energía por millones de años, por medio de la radiación, siendo los rayos del Sol que llegan a la tierra. Ésta puede ser convertida en otras formas de energía, como el calor y la electricidad. Cuando la energía solar es térmica puede utilizarse para:

- Calentar agua — en hogares, edificios o piscinas.
- Calentar espacios — casas, invernaderos y otros edificios.
- Calentar fluidos — a altas temperaturas, sirviendo como base para la operación de turbinas generadoras de electricidad.

La energía solar se puede convertir en electricidad de dos maneras:

- Fotovoltaica (PV) o celdas solares.- transforman luz solar en electricidad. Las celdas PV individuales se agrupan en paneles, o bien, en matrices de paneles que pueden utilizarse en una amplia gama de aplicaciones que van desde pequeñas celdas individuales que alimentan pilas de calculadora y relojes hasta sistemas que suministran electricidad a casas, proveniente de grandes centrales que cubren muchas hectáreas.
- Plantas de energía térmica y eléctrica solar.- generar electricidad mediante la concentración de energía solar para calentar un fluido y producir vapor que se usa para encender un generador. En 2009, hubo 13 unidades generadoras de energía térmico-solares que operan en los Estados Unidos, 11 en California, 1 en Arizona y 1 en Nevada.

Los principales beneficios de la energía solar son:

- Los sistemas de energía solar no producen contaminantes del aire o dióxido de carbono.
- Cuando se encuentran en edificios, tienen un impacto mínimo sobre el medio ambiente.

Dos limitaciones de energía solar son:

- La cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre no es constante. Varía según el lugar, hora del día, época del año y las condiciones meteorológicas.
- Debido a que el sol no entrega que mucha energía a cualquier lugar en cualquier momento, una gran superficie es necesaria para recoger la energía a un ritmo útil.

Gracias a la constancia de científicos y personas interesadas en el medio que han propiciado la evolución de la tecnología, el resultado se ha visto reflejado en la aportación de mejora de calidad de vida para la humanidad. En consecuencia, la captación de la Energía Solar como fuente de generación de electricidad también ha sido beneficiada a través del tiempo (Figura 2.1); con enfoque a las celdas fotovoltaicas, o celdas solares, el aumento de su capacidad ha sido notorio, ya que las primeras eran muy ineficientes, convirtiendo menos del 1% de energía radiante en electricidad. Hoy en día, existen celdas solares con conversión efectiva del 40%.

Fue a principios del S. XX cuando se dieron los primeros hallazgos de captación de energía solar, entre los más importantes se encuentran las investigaciones del notable científico Albert Einstein, quién en 1905 publicó un documento sobre el efecto fotoeléctrico, ganando en 1921 el Premio Nobel. Sus fundamentos se basaron en teorías de Charles Fritts (1884, fabricación de primera celda solar) y Heinrich Hertz (1887, principios del efecto fotoeléctrico).

1830 – El astrónomo británico John Herschel utiliza una caja colectora térmica solar para cocinar los alimentos durante una expedición a África.

1873 – Willoughby Smith descubre la fotoconductividad del selenio. Esto condujo a la invención de la celda fotoeléctrica.

1950 – Investigadores de laboratorios Bell (Daryl Chapin, Calvin Fuller, and Gerald Pearson) desarrollan una celda fotovoltaica 6% más eficiente hecha de silicio.

1970 – Surge la idea de potenciar las bombas de extracción de agua con paneles solares. De esta manera se hacía viable la obtención de agua de acuíferos en zonas rurales sin acceso a la electricidad. Esta aplicación se ha extendido enormemente por todo el mundo desde entonces, incluso en zonas electrificadas, y ha sido especialmente beneficioso en las zonas empobrecidas del planeta.

1980 – Surge con fuerza las iniciativas para electrificar las sociedades de los países empobrecidos. En estas sociedades la electrificación no podía basarse en el modelo energético usado de los países enriquecidos de grandes centrales y un sistema de distribución. Resultaba excesivamente costoso instalar toda una red eléctrica en unas sociedades en las que gran parte de la población estaba distribuida de manera muy dispersa en asentamientos rurales. Por estas razones se optó por sistemas de generación eléctrica en el mismo lugar de consumo y entre ellos por los paneles solares fotovoltaicos.

El apoyo institucional parece que puede ser decisivo. La Unión Europea (UE) aprobó en 2008 la llamada normativa 20-20-20 que además de obligar a la reducción del 20% de las emisiones de CO₂ para el 2020, obliga a que al menos el 20% de la energía de la UE provenga de fuentes renovables.

Por su parte EEUU, tras la incorporación al poder de Barack Obama, anunció la decisión de apostar fuerte por las energías renovables en unos objetivos de implantación semejantes a los de la Unión Europea para así reducir el impacto en el medio ambiente y la dependencia de ese país al petróleo extranjero.

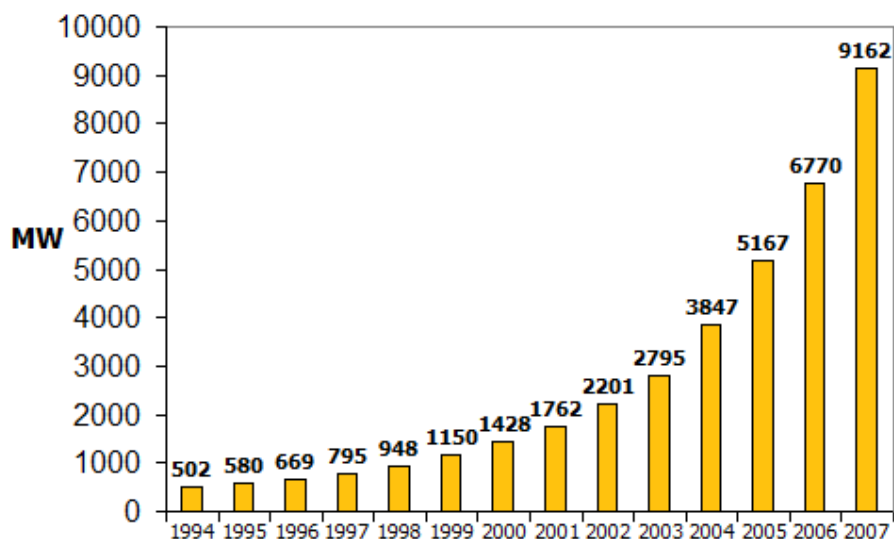


Figura 2.1 Capacidad fotovoltaica acumulada mundial.

Energía eólica

El viento es simplemente aire en movimiento causado por el calentamiento solar desigual sobre la superficie terrestre; siendo que ésta es de muy diferentes tipos de suelo y agua, absorbe el calor del sol también a velocidades diferentes. Un ejemplo de este calentamiento desigual puede encontrarse en el ciclo diario de viento: durante el día, el aire por encima de la tierra aumenta más rápidamente que el aire sobre el agua ya que se calienta, se expande y se levanta, al mismo tiempo que el aire frío, más pesado, se apresura a tomar su lugar, creando viento. Por la noche, los vientos están invertidos porque el aire se enfría más rápidamente sobre la tierra que sobre el agua.

Del mismo modo, los vientos atmosféricos (círculo de la tierra) se crean porque la tierra cerca de Ecuador se calienta más por el sol que la tierra cerca de los polos norte y sur.

Hoy, la fuerza del viento (Energía Eólica) es utilizada principalmente para generar electricidad (Figura 2.2). El viento es una fuente de energía renovable porque el viento va siempre y cuando el sol brille. Al igual que las energías provenientes del fuego y agua, es considerada una de las más antiguas.

500-900 D.C – Los primeros molinos de viento se desarrollan en Persia.

1300 – Aparece el primer molino de viento (rehilete) en el oeste de Europa.

1850 – El primer diseño americano de molino de viento por Daniel Halladay and John Burnham.

1880 – Thomas O. Perry diseña la ecuación matemática para el molino de viento, aumentando la potencia y suavidad de bombeo.

1888 – Charles F. Brush es el primero en usar un molino de viento para generar electricidad, llamándolas turbinas de viento. Su compañía fue adquirida por GE años mas tarde.

1941-1945 – Durante la Segunda Guerra Mundial se utiliza una turbina de viento para suministrar energía a una comunidad durante varios meses.

1973 – La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC) se interesan en Energías Alternas, como la Eólica, dados los altos costos de petróleo a causa de la crisis.

1974-1982 – La Administración Espacial y Aeronáutica Nacional (NASA) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos Americanos desarrollan 13 experimentos de turbinas de viento dentro de los que destacan 4:

- 1) El MOD-0A (200 kW)
- 2) El MOD-1 (2 MW, la primer turbina con capacidad mayor a 1MW, 1979)
- 3) El MOD-2 (2.5 MW).
- 4) El MOD-5B (3.2 MW).

1990 – Más de 2200 MW de capacidad energética eólica es instalada en California (más de la mitad de la capacidad mundial en ese entonces)

1999 – Se generan 2000 MW de electricidad.

Durante los años recientes, la capacidad mundial Eolo-eléctrica instalada ha crecido de manera vertiginosa, particularmente en Alemania y España y más recientemente en China. En Europa, el rápido crecimiento de la capacidad instalada ha sido en gran parte propiciado por la implementación de las feed-in tariffs. Durante el periodo 1999-2009, la capacidad eólica mundial se ha expandido con una tasa de crecimiento promedio anual de 27.9%, al pasar de 13,600 MW a 159,213 MW.

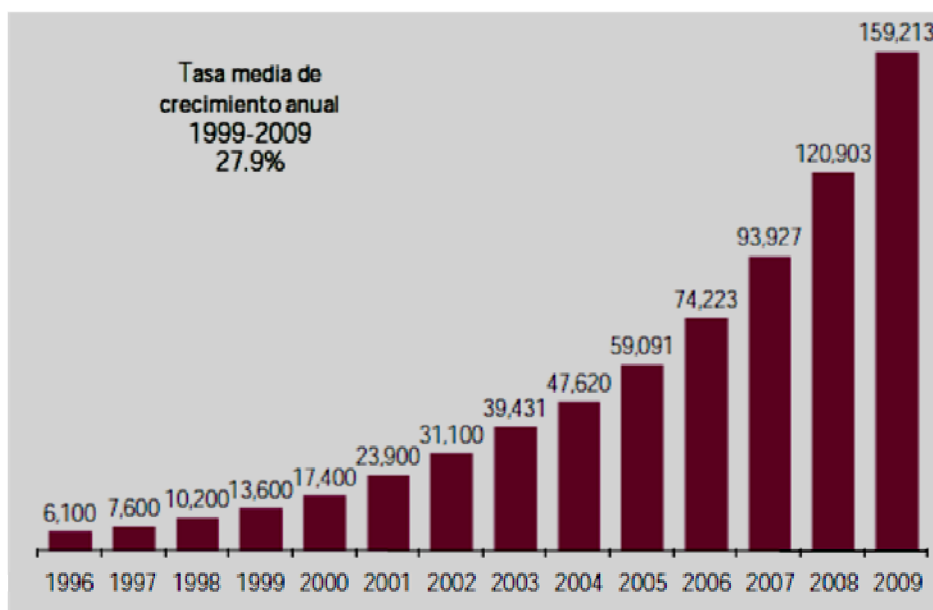


Figura 2.2 Evolución histórica de la capacidad eólica mundial, 1996-2009.

Fuente: Global Wind 2009 Report, Global Wind Energy Council (GWEC) y World Wind Energy Report 2009, World Wind Energy Association.

Al cierre de 2009 se tenían instalados 159,213 MW de capacidad eólica alrededor del mundo, de los cuales destaca en primer lugar EUA con 35,159 MW (22.1%), China con 26,010 MW (16.3%), Alemania con 25,777 MW (16.2%), luego España con 19,149 MW (12.0%), India 10,925 MW (6.9%), Italia con 4,850 MW (3.0%), entre otros. México ocupa la posición 27 con 402 MW (0.3%) (Tabla 2.1 y Figura 2.3).

Tabla 2.1 Capacidad eólica mundial instalada, 2009.

País	Capacidad 2008 (MW)	Adiciones de Capacidad 2009 (MW)	Capacidad 2009 (MW)	Participación (%)
Total	120,903	38,312	159,213	100
1. EUA	25,237	9,922	35,159	22.1
2. China	12,210	13,800	26,010	16.3
3. Alemania	23,897	1,880	25,777	16.2
4. España	16,689	2,460	19,149	12.0
5. India	9,587	1,338	10,926	6.9
6. Italia	3,736	1,114	4,850	3.0
7. Francia	3,404	1,117	4,521	2.8
8. Reino Unido	3,195	897	4,092	2.6
9. Portugal	2,862	673	3,535	2.2
10. Dinamarca	3,163	334	3,497	2.2
11. Canadá	2,369	950	3,319	2.1
12. Holanda	2,235	5	2	1.4
13. Japón	1,880	176	2,056	1.3
14. Australia	1,494	383	1,877	1.2
15. Suecia	1,067	512	1,579	1.0
27. México	85	317	402	0.3
Resto del Mundo	7,793	2,434	10,225	6.4

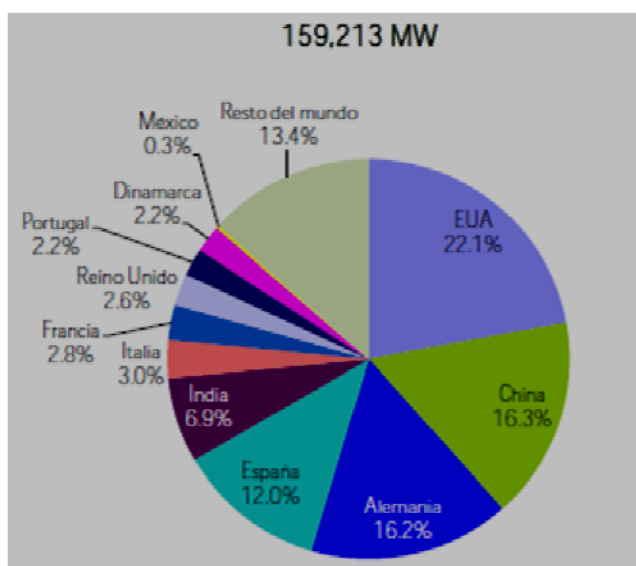


Figura 2.3 Distribución de la capacidad mundial por país, 2009.

Fuente: *World Wind Energy Report 2009, World Wind Energy Association.*

2.2 Sistemas híbridos de generación de energía basados en fuentes alternas

Cuando un sistema de generación incluye dos o más fuentes de energía para despachar una carga eléctrica determinada suele llamarse “híbrido” (ver Figura 2.4). Tales fuentes de energía pueden ser tanto renovables como convencionales. En cuanto a la carga eléctrica a despachar, normalmente es de corriente alterna (CA); sin embargo, dependiendo de las características del proyecto, dicho sistema también puede cubrir cargas de corriente directa (CD) o ambas al mismo tiempo. Dependiendo de la arquitectura particular del sistema, puede ser autónomo (*stand-alone*), es decir, una isla de generación de energía aislada de la red eléctrica convencional o por el contrario, si una de las fuentes de energía es la red eléctrica, entonces el sistema es conocido como “con interconexión a la red” (“*grid-connected*”).

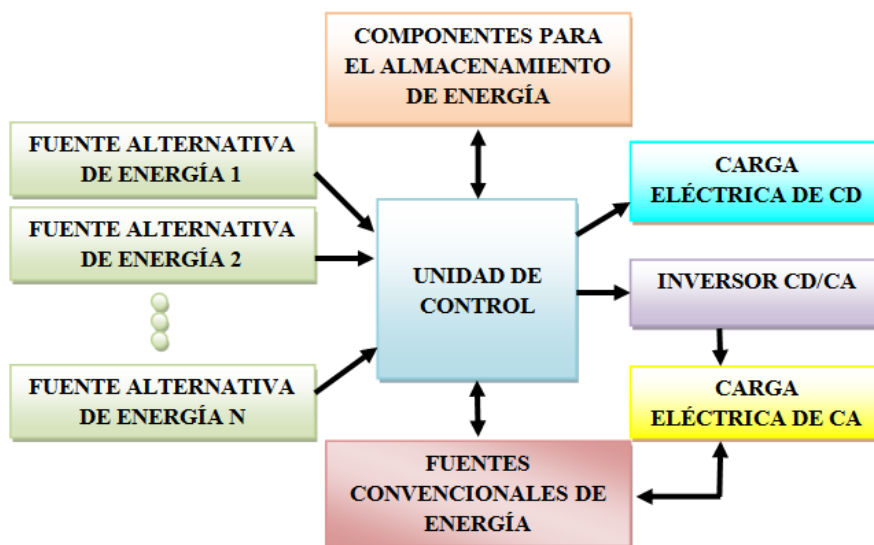


Figura 2.5 Arquitectura general de un sistema híbrido de generación de energía (Luna-Rubio, et al., 2010).

En ocasiones, debido a la naturaleza estocástica tanto de la disponibilidad de algunas fuentes renovables de energía, así como, a la dinámica de la demanda energética, los sistemas híbridos de generación suelen requerir componentes para el almacenamiento temporal de excedentes de energía (*i.e.* bancos de baterías). El objetivo de estos componentes es el de servir como una fuente de respaldo que permita cubrir la demanda energética en momentos en los que hay una carencia en la producción de energía.

Un dimensionamiento adecuado de cada uno de los componentes que integran el sistema es factor clave para la viabilidad técnica y económica del mismo. Por lo tanto, la penetración de fuentes renovables en el mercado energético depende en buena medida de la metodología de dimensionamiento utilizada para diseñar de manera “óptima” éste tipo de sistemas híbridos de generación de energía.

Fuentes de energía alterna, tales como la Solar y la Eólica, han llamado la atención del Sector Energético para generar electricidad a gran escala. Como inconveniente, lo normal en el manejo de estas energías, su impredecible naturaleza y dependencia del clima y sus cambios. Por fortuna, este problema puede ser parcialmente sobrellevado por la integración de dos fuentes con una apropiada combinación para formar un Sistema Híbrido, usando la fuerza de una para subsidiar la debilidad de la otra (Yang, et al., 2009).

La diversidad y optimización de los sistemas autónomos híbridos de energía renovable es más compleja que los sistemas individuales por el análisis que se debe llevar a cabo. La gran diferencia de métodos puede entonces ser aplicada para lograr el más óptimo. Cual sea usado, la optimización debe ser buscada mediante los siguientes parámetros: el nivel de autonomía, es decir, la fracción de tiempo por la que la carga específica pueda ser conocida; y, el costo del sistema que, en su momento, es la unidad de costo de electricidad producida por el sistema. Éste último, es el factor gobernante del sistema, a menos que se tenga un presupuesto ilimitado. Por tanto, la relación entre la autonomía del sistema y su costo debe ser cuidadosamente estudiada, tal que una solución óptima pueda ser conseguida. Para sistemas de energía autónomos Foto-Voltaicos/Generador por Viento (PV/WG, por sus siglas en inglés) la correcta capacidad debe ser reconocida como crucial si la finalidad es proveer energía eléctrica a un bajo costo (Celik, 2003).

Arquitectura general

Varias técnicas de optimización, tales como el método de construcción gráfica (para optimización, normalizando dos parámetros: PV-WG, PV-BAT ó WG-BAT) (Borowy, et al., 1996), la aproximación probabilística (para calcular a largo plazo el rendimiento de un Sistema Híbrido) (Tina, et al., 2006), y la técnica de iteración (dadas múltiples combinaciones de capacidad de generación, se busca la que tenga menos pérdida de energía) (Yang, et al., 2003;

Yang, et al., 2007), han sido recomendadas por investigadores para garantizar el costo mínimo invertido con el uso de un sistema solar (PV), uno eólico (WG) y un banco de baterías. Estas diversas metodologías no toman en cuenta algunas características importantes del diseño del sistema, tales como el ángulo de inclinación del módulo PV o la altura de instalación de la turbina de viento.

A continuación se presenta un modelo prototipo de un sistema híbrido autónomo eólico-solar empleando un banco de baterías, desarrollado en base a los conceptos de Probabilidad de Pérdida de Suministro de Energía (LPSP), y el Sistema de Costo Anual (ACS). Las variables de decisión, incluidas en el proceso de optimización, son: el número de módulos PV y su ángulo de inclinación, número de turbinas de viento y altura de instalación, así como el número de baterías. La configuración que permite conocer la credibilidad de los requerimientos del sistema a un costo mínimo puede ser obtenida por medio de la técnica de optimización: el algoritmo genético (GA), robusto por lo general, en busca de soluciones óptimas globales, particularmente para problemas de múltiples modos y objetivos (Yang, et al., 2009).

Modelo de los componentes de un sistema híbrido

Los componentes principales de un sistema híbrido de generación de energía eólico-solar se describirán a continuación de manera individual para predecir su desempeño:

- Modelo de actuación de un arreglo PV: la función de un módulo PV es altamente influenciada por las condiciones climáticas, especialmente por la radiación solar y la temperatura del módulo. Un simple modelo de simulación (Zhou, et al., 2007) es usado para estimar su actual condición bajo condiciones variables de operación. Cinco parámetros (α , β , γ , R_s y n) son introducidos tomando en cuenta la no-linealidad de los factores ambientales. Usando la definición de factor lleno, la máxima energía entregada por el módulo será:

$$P_{\text{module}} = \frac{\frac{V_{oc}}{nKT/q} - \ln\left(\frac{V_{oc}}{nKT/q} + 0.72\right)}{1 + \frac{V_{oc}}{nKT/q}} \cdot \left(1 - \frac{R_s}{V_{oc}/I_{sc}}\right) \cdot I_{sc} \left(\frac{G}{G_0}\right)^\alpha \cdot \frac{V_{oco}}{1 + \beta \ln \frac{G_0}{G}} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^\gamma \quad (1)$$

donde α es el factor responsable por los efectos no-lineales dependientes de las corrientes fotoeléctricas; β es un coeficiente adimensional relacionado con las especificaciones tecnológicas del módulo PV (Yang, et al., 2009); n es el factor de idealidad ($1 < n < 2$); R_s serie clasificada; y γ es el factor que considera todos los efectos no-lineales de voltaje-temperatura. Los módulos PV representan la unidad fundamental de conversión de energía de un sistema PV. Es de suma importancia conectar los módulos en serie y paralelo con el fin de ampliar el voltaje y la corriente para adaptar la salida del arreglo PV. Si se considera una matriz $N_s \cdot N_p$ de módulos PV, la máxima energía entregada puede ser calculada por:

$$P_{PV} = N_p \cdot N_s \cdot P_{module} \cdot \eta_{MPPT} \cdot \eta_{oth} \quad (2)$$

donde η_{MPPT} es la eficiencia del punto de rastreo máximo de energía, además es variable de acuerdo a las diferentes condiciones de trabajo, un valor constante del 95% lo asume para simplificar los cálculos. η_{oth} es el factor representativo de otras pérdidas tales como la resistencia del cable, la acumulación de polvo, etc.

- Modelo de actuación de una turbina de viento: al seleccionar un modelo ajustable es importante las simulaciones para la obtención de energía. Para una típica turbina de viento, la característica de la energía entregada puede ser asumida de forma que empiece a generarla cuando comience la velocidad corta-viento v_c , la energía de salida incrementa linealmente mientras que la velocidad del viento lo haga de igual manera de v_c a la velocidad media v_R . La energía media P_R es producida la velocidad del viento varía de v_R a la velocidad corta-viento v_F la cual cerrará la turbina de viento por cuestiones de seguridad. Entonces la simulación se presentará como sigue:

$$P_{WT} = \begin{cases} P_R \cdot \frac{v - v_C}{v_R - v_C} \dots (v_C \leq v \leq v_R) \\ P_R \dots (v_R \leq v \leq v_F) \\ 0 \dots (v < v_C \text{ or } v > v_F) \end{cases} \quad (3)$$

- Para turbinas a pequeña escala, la velocidad de corta-viento es relativamente pequeña, y las turbinas pueden operar fácilmente aún cuando la velocidad del viento no es muy alta.

- Modelo de actuación de batería: baterías de plomo ácido son usadas en sistemas híbridos eólicos-solares operando bajo condiciones específicas, las cuales dificultan predecir cuando la energía será extraída del suministro de la batería. Por lo general, estas baterías se caracterizan por dos puntos principales:
- El estado de carga (SOC).- que para su buen conocimiento es necesario saber su punto inicial, el tiempo de carga y descarga, y la corriente. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de almacenamiento no son ideales, las pérdidas ocurren durante la carga y descarga, y dentro del periodo de almacenamiento. Tomando en cuenta estos factores, el SOC en el tiempo t+1 puede ser calculado por:

$$SOC(t+1) = SOC(t) \cdot \left(1 - \frac{\sigma \cdot \Delta t}{24}\right) + \frac{I_{bat}(t) \cdot \Delta t \cdot \eta_{bat}}{C'_{bat}} \quad (4)$$

donde σ es la descarga media que depende de la carga acumulada y de la vida útil de la batería (Van Dyk, et al., 2002). C'_{bat} es la capacidad nominal de la batería Δt . η_{bat} es la eficiencia de la batería (carga y descarga). Es difícil medir sin separar ambas eficiencias, por ellos los fabricantes ya la especifican (como de ida y vuelta, round-trip). Para este modelo la eficiencia de la carga se determina según especificaciones del proveedor, y la descarga con la fórmula (1).

- El voltaje de carga flotante.- la respuesta del modelo está dada por el método de igualación, que expresa que la batería de carga flotante por el polinomio en términos del SOC y la corriente de la batería:

$$V_{bat} = A \times (SOC)^3 + B \times (SOC)^2 + C \times SOC + D \quad (5)$$

donde A, B, C y D son funciones de la corriente I de la batería, y pueden ser calculadas por:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ d_1 & d_2 & d_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I^2 \\ I \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

- Por igualdad de ecuaciones los datos del rendimiento de la batería, los parámetros a1, a2, a3, ..., d1, d2, d3 pueden ser calculados.

2.3 Herramientas computacionales para analizar la integración de fuentes alternas de energía

Existen múltiples aplicaciones de software capaces de realizar el análisis estadístico simulado de la integración de fuentes de energía alterna (sistemas híbridos). No tienen las mismas características ya que fueron diseñados con un objetivo en particular, pero, entre las afinidades relevantes se encuentra la combinación de números con factores tales como los sectores energéticos considerados, informes tecnológicos, parámetros de tiempo usados, herramientas disponibles y estudios previos.

Para el presente estudio se considera la herramienta computacional HOMER, software de uso accesible creado en 1992 por el Laboratorio de Energía Renovable Nacional de USA. Del cual se conocen 32 versiones y puede ser descargado de internet y se puede realizar un análisis típico después de un día de entrenamiento.

HOMER simula y optimiza sistemas de energía autónomos conectados a la red de alimentación con cualquier combinación de turbinas de viento, arreglos PV, fuerza de agua, biomasa, motor generador de combustión interna, micro-turbinas, celdas de combustibles, baterías y almacenes de hidrógeno, para ambas cargas: eléctrica y térmica. Incluye también los costos (y de multas por contaminación) excepto cuando se maneje gasolina. La simulación considera mediciones de periodos de un año en lapsos de un minuto. Mediante un análisis de sensibilidad (what-if, “que pasa si”) ayuda al analizador a investigar los efectos de incertidumbres o cambios con las variables de entrada. El objetivo de la simulación de optimización es evaluar la viabilidad técnica y económica de las diferentes opciones tecnológicas, mientras se consideras las variaciones de los costos tecnológicos y la disponibilidad de fuentes de energía (Connolly, et al., 2010).

2.4 Indicadores tecno-económicos del desempeño de sistemas híbridos de generación de energía

El enfoque económico, de acuerdo con el concepto del Sistema de Costo Anual (ACS), es desarrollado para ser el mejor punto de referencia de los análisis en sistemas de costo. Según

estudios de sistemas híbridos eólico-solares, el ACS está conformado por el costo anual de capital C_{acap} , el costo anual de reemplazo C_{arep} y el costo anual de mantenimiento C_{amain} . Entonces, el ACS puede ser expresado de acuerdo a cuatro partes principales consideradas: el arreglo PV, la turbina de viento, las baterías y la torre de la turbina de viento:

$$ACS = C_{acap}(PV + Wind + Bat + Tower) + C_{arep}(Bat) + C_{amain}(PV + Wind + Bat + Tower) \quad (7)$$

El costo anual de capital por cada componente (el arreglo PV, la turbina de viento, las baterías y la torre de la turbina de viento) es:

$$C_{acap} = C_{acap} \cdot CRF(i, Y_{proj}) = C_{acap} \cdot \left(\frac{i \cdot (1+i)^{Y_{proj}}}{(1+i)^{Y_{proj}} - 1} \right) \quad (8)$$

donde C_{acap} es el costo del capital inicial requerido para cada componente en US dólares; Y_{proj} es el tiempo de vida de cada componente, anual; CFR es el factor de recuperación de capital, una proporción para calcular el valor presente de una anualidad (una serie equitativa anual de flujo de dinero). La tasa de interés real anual i es relativa a la tasa de interés nominal i' y la tasa de inflación anual f .

El costo anual de reemplazo es el precio particular por año de todos los reemplazos que ocurren a través del tiempo de vida del proyecto:

$$C_{arep} = C_{rep} \cdot SFF(i, Y_{rep}) = C_{rep} \cdot \left(\frac{i}{(1+i)^{Y_{rep}} - 1} \right) \quad (9)$$

donde C_{rep} es el costo de reemplazo de los componentes (batería), en dólares; Y_{rep} es el tiempo de vida del componente (batería), al año; SFF es el factor del fondo de amortización, una razón para calcular el valor a futuro de una serie equitativa de anual de flujo de dinero.

El costo del sistema de mantenimiento se estima para ser considerado cada año. La configuración con la más baja ACS es tomada como la única y óptima de las configuraciones que pueden garantizar la credibilidad requerida de la fuente de alimentación (Yang, et al., 2009).

Costo neto presente

HOMER utiliza el Costo Neto Presente (NPC) total para representar el ciclo de vida del sistema. Esto incluye todos los costos de rentas públicas que ocurren dentro del tiempo de vida del proyecto, con descuentos futuros de flujos monetarios en el presente. El NPC incluye el Costo Inicial (IC) de los componentes del sistema, el costo de cualquier componente de reemplazo que ocurre durante el tiempo de vida del proyecto, el costo del mantenimiento y el combustible. El NPC es calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$NPC(\$) = \frac{TAC}{CRF} \quad (10)$$

donde TAC es el costo total anual (el cual es la suma del costo anual de cada componente del sistema). El factor de recuperación de capital (CFR, por sus siglas en inglés) está dado por:

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (11)$$

donde N es el número de años e i es la tasa de interés anual (%).

HOMER asume que todos los precios están escalados a la misma tasa, y usa la “tasa de interés real anual” más que la “tasa de interés nominal”. Este método permite no tomar en cuenta la inflación del análisis.

NPC también toma en cuenta cualquier costo de salvamiento, el cual es el valor restante en un componente del sistema de alimentación al final del tiempo de vida del proyecto. HOMER asume una depreciación lineal de los componentes, significa que el valor de salvamiento de un componente es directamente proporcional a su vida restante. También asume que el valor del salvamiento está basado en el costo de reemplazo más que el costo de capital inicial. La ecuación para calcular el valor de salvamiento (S) es:

$$S(\$) = C_{rep} \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (12)$$

donde C_{rep} es el costo de reemplazo del componente, R_{rem} es la vida restante del componente (t) y R_{comp} es el tiempo de vida del componente (t) (Devesas, et al., 2008).

Factor renovable

El factor renovable (RF) es la porción de la producción de electricidad anual total originada de las fuentes de energía renovables. Es calculada por la división de la producción de energía renovable total entre la producción de energía total.

Tiempo de reembolso

En lo que refiere al presupuesto de capital, es el periodo de tiempo requerido para el regreso de una inversión que “re-paga” la suma total (original) de la misma. Por ejemplo, una inversión de \$1000 la cual regresa \$500 al año, tendrá un tiempo de reembolso de dos años. El valor de tiempo de la moneda no es tomado en cuenta. Intuitivamente, el tiempo de reembolso mide cuanto tiempo dura en pagarse solo algo.

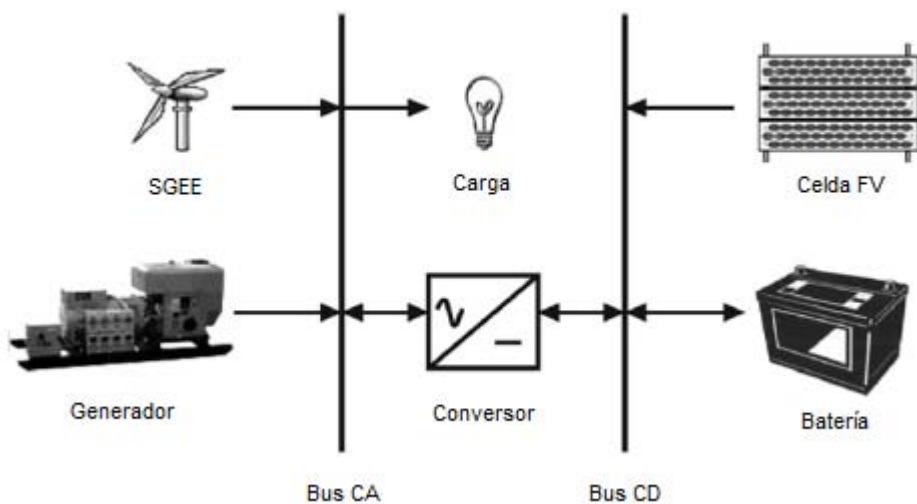
2.5 Diseño de sistemas híbridos de generación de energía

Figura 2.6 Esquema representativo de fuente de energía renovable para bus de corriente alterna y directa

El aerogenerador AIR 403 (Figs. 2.6 y 2.7), utilizado en estos proyectos, es idóneo para un sistema híbrido de generación combinado con paneles fotovoltaicos (Fig. 2.8 y 2.9), que al

complementarse en el tiempo garantizan la carga constante de las baterías que suministran la energía a los consumidores (TV, lámparas, vídeo). De esta forma se amortiguan las fluctuaciones diarias y estacionales de ambas fuentes energéticas, lo que reduce los ciclos de descarga de las baterías y extiende su vida útil.



Figura 2.6 Aerogenerador, modelos AIR 403, utilizados en los sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos que ya funcionan con éxito.



Figura 2.7 Panel solar fotovoltaico instalados en techos electrificados con el sistema híbrido descrito.

El funcionamiento de este sistema híbrido puede describirse, de forma simplificada, con las siguientes características:

- El sistema está integrado por dos subsistemas de generación eléctrica: paneles fotovoltaicos y aerogenerador.
- En términos generales, diariamente puede manifestarse la presencia del Sol (de acuerdo con la nubosidad), del viento, o de ambos recursos energéticos.

- El banco de baterías requiere de recarga, debido al consumo de los equipos el día anterior.

Diariamente, con la presencia de una o ambas fuentes energéticas, se inicia el proceso de recarga del banco de baterías con la entrada de los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador o ambos simultáneamente si las demandas del sistema lo requieren. Un controlador de carga común determina la necesidad de una intensidad de carga específica, resultando en un nivel de penetración parcial o total de cada fuente de acuerdo con su energía disponible y al régimen de carga requerido por el sistema. El proceso de carga del banco de baterías, en ausencia de una de las fuentes energéticas (Sol o viento), puede ser asumido por un mayor aporte de generación eléctrica del subsistema correspondiente a la fuente existente.

En el caso del aerogenerador, un sofisticado sistema de regulación de carga, acoplado en el interior del mismo, controla el régimen de carga al sistema, desconectando el equipo una vez alcanzada la carga idónea.

El aerogenerador desconectado queda en cortocircuito, situación en que es autofrenado, para regular el número de vueltas del rotor a un paso lento y silencioso y de esta forma evitar una sobre velocidad que pudiera provocar daños al equipo en caso de vientos fuertes. El regulador queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de recarga.

III. METODOLOGÍA

3.1 Marco teórico

Recurso solar

Gracias a las reacciones nucleares llevadas a cabo en el Sol, nuestro planeta recibe un flujo energético muy grande. Además, tomando en cuenta la cantidad de combustible disponible en el Sol, así como la tasa de consumo de dichos recursos, podemos considerar a nuestro astro solar como una fuente inagotable de energía.

La energía proveniente de nuestro Sol llega a nuestro planeta Tierra en forma de radiación electromagnética, con un espectro que abarca longitudes de onda que van desde $0.2 \mu\text{m}$ hasta $2.6 \mu\text{m}$. (Figura 3.1).

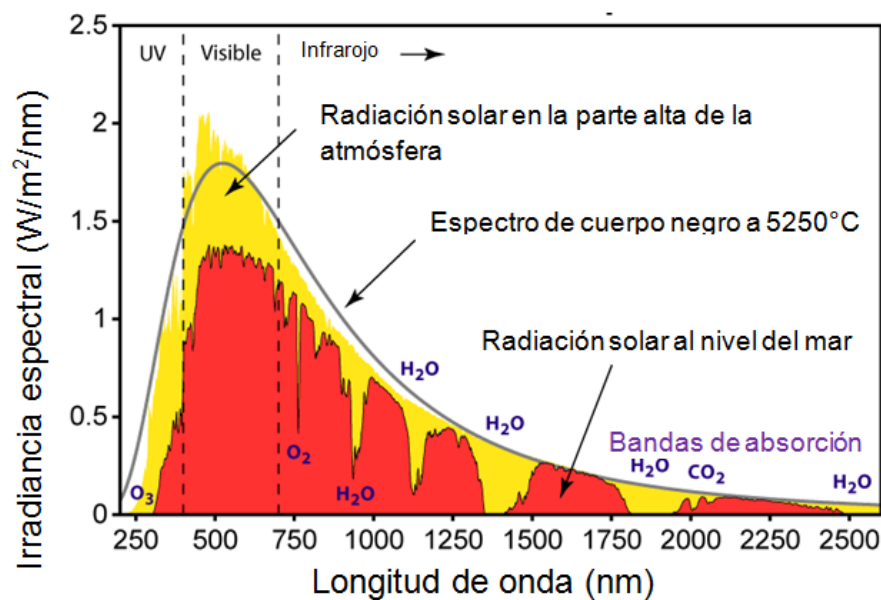


Figura 3.1 Espectro de radiación solar.

Es importante destacar que la luz solar que percibimos mediante nuestros ojos es un espectro muy pequeño dentro de la radiación solar y es mejor conocido como el espectro visible, el cual abarca longitudes de onda que van desde $0.4 \mu\text{m}$ hasta $0.7 \mu\text{m}$ (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Rangos de longitud de onda y color correspondiente.

Rango de longitud de onda (μm)	Valor medio	Color
0.38-0.43	0.41	Violeta
0.43-0.5	0.47	Azul
0.5-0.57	0.55	Verde
0.57-0.6	0.58	Amarillo
0.6-0.64	0.61	Naranja
0.64-0.77	0.66	Rojo

Irradiancia e insolación

Debido a que el recurso solar es una fuente energética, las unidades para cuantificar dicho recurso corresponden a las de energía. En el sistema internacional, la unidad de energía es el joule, ahora bien, se establece la intensidad de radiación o irradiancia solar (I_s), como la energía radiante por unidad de área

$$I_s = \frac{E}{St} \quad (1)$$

donde E corresponde a la energía radiante que llega a la superficie (S) de interés en un tiempo t determinado.

Sabemos que la energía es el producto de potencia (P) por unidad de tiempo (t), entonces si expresamos la irradiancia solar I_s en términos de la potencia P de la radiación incidente en una superficie S , es posible expresar la irradiancia solar como sigue:

$$I_s = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Si las unidades de potencia son watts y las unidades de superficie son m^2 , tenemos entonces que las unidades de la irradiancia solar son W/m^2 .

Por otro lado, el concepto de insolación hace referencia a la densidad de energía acumulada o recibida por unidad de tiempo, es decir, la irradiancia acumulada sobre una superficie por unidad de tiempo. Si definimos E_s como la insolación y t el tiempo en segundos, entonces podemos establecer la siguiente ecuación

$$E_s = I_s t \quad (2)$$

Generalmente, el valor de insolación se reporta como una acumulación de energía promedio durante un periodo de tiempo (día, mes, año).

Efectos de atenuación

Al incidir la luz solar sobre la Tierra, parte de ella es reflejada, dispersada y absorbida por la atmósfera terrestre, otra parte de ella llega a la superficie terrestre donde puede ser absorbida o reflejada.

Debido a los procesos de absorción, reflexión y dispersión que se llevan a cabo en la atmósfera, la irradiancia que llega a la superficie de la Tierra es menor a la que llega a al exterior de la atmósfera, es decir, esta última se atenúa en su trayecto a la superficie terrestre.

El grado de atenuación dependerá de la longitud de la trayectoria que recorre la radiación a través de la atmósfera y del medio por el cual atraviesa. Dicho medio es el aire, luego entonces, el grado de atenuación dependerá del espesor de la masa de aire m . En realidad m , es el espesor de la trayectoria que sigue el rayo solar, a través de la atmósfera, para alcanzar la superficie terrestre.

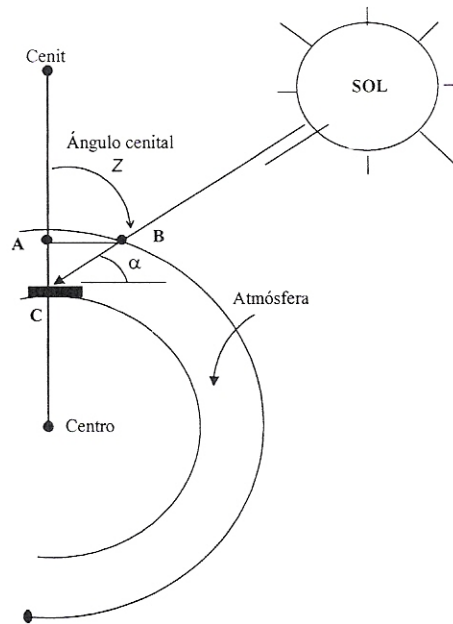


Figura 3.2 Definición del concepto de masa de aire.

Radiación directa, difusa y global

Cuando la radiación solar entra en la atmósfera terrestre, las partículas suspendidas como el aire, el ozono, moléculas de agua y polvo por mencionar algunos, interactúan con los rayos provenientes del Sol absorbiéndolos, difractándolos o reflejándolos. Luego entonces, un captador de energía solar recibe en su superficie dos tipos de radiación solar: directa y difusa. La componente de radiación directa puede ser definida como aquella radiación que llega al captador sin sufrir algún cambio de dirección en su trayectoria desde el foco emisor hasta el captador. Por otro lado, se conoce como radiación difusa a aquella que recibe el captador solar proveniente de la bóveda celeste. Ella está compuesta por dos componentes, la reflejada y la refractada. A la suma de las radiaciones directa y difusa se le conoce como radiación global.

Hora pico

El concepto de hora pico es un término que los ingenieros de diseño han convenido como una alternativa para especificar la insolación en una localidad determinada.

Si consideramos que un captador solar horizontal puede recibir una irradiancia directa aproximada de 1000 W/m^2 bajo condiciones de un día “claro”, al nivel del mar y estando el sol en el cenit del captador, entonces por convención se ha considerado denominar pico de la irradiancia al valor de 1000 W/m^2 . Luego entonces, a la cantidad de insolación recibida en un captador solar durante el lapso de una hora, por convenio es denominada hora-pico; es decir, una hora-pico equivale a una insolación de 1000 Wh/m^2 .

Considerando que el área bajo la curva de irradiancia contra tiempo es la insolación, entonces desde el punto de vista geométrico, el recurso solar expresado en horas-pico corresponde al área de un rectángulo cuya base es el número de horas en las que el sol de manera hipotética ha estado brillando con una intensidad pico de 1000 W/m^2 .

Trayectoria solar

La Radiación solar que llega a la superficie de la tierra no suele superar los 1000 W/m^2 , debido a la absorción y reflexión de la atmósfera, y a la inclinación de los rayos solares. Toda la energía radiante absorbida por la cara soleada de la tierra se equilibra con la irradiación infrarroja que toda la superficie de la tierra reenvía al espacio.

Por otro lado, la Tierra realiza una órbita anual casi circular en torno al sol. Como curiosidad, la ligera excentricidad de la órbita hace que en diciembre se reciba casi un 4% más de radiación que en junio. La tierra realiza una rotación diaria sobre sí misma, con la importante característica que el plano del Ecuador no es paralelo al plano de la Orbita, sino que forman un ángulo constante de unos $23,5^\circ$.

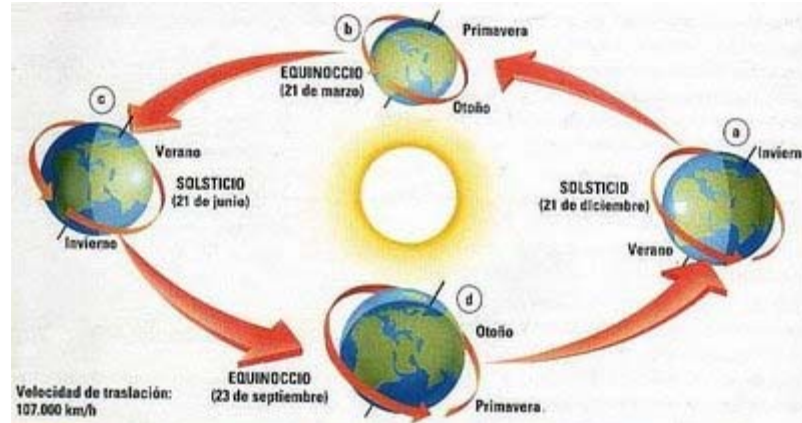


Figura 3.3 Movimientos de rotación y traslación de la Tierra.

La declinación es el ángulo que forma el rayo solar con el plano del ecuador en cada época del año, determinando las estaciones climáticas.

El solsticio de verano es el día con más horas de sol y con el máximo soleamiento del hemisferio, aunque las temperaturas máximas se retarden aproximadamente un mes, desfase producido por el almacenamiento de calor en la Tierra.

En los equinoccios la noche dura igual que los días, y ambos hemisferios reciben igual cantidad de soleamiento, marcando el cambio de estación.

El solsticio de invierno es el día más corto y con soleamiento mínimo, con temperaturas mínimas a finales de enero. En el hemisferio sur el proceso es idéntico pero con un desfase de 6 meses.

3.2 Desarrollo experimental

El presente estudio fue realizado bajo las condiciones climáticas y de demanda de energía eléctrica del el Estado de Querétaro, el cual se ubica en el centro de México en la región conocida como “El Bajío”. El Estado de Querétaro está localizado entre los paralelos $20^{\circ} 01' 02''$ y $21^{\circ}40'$ latitud norte y los meridianos $99^{\circ} 03' 23''$ y $100^{\circ} 36'$ longitud oeste. Limita al noreste con San Luis Potosí, al este con Hidalgo, al sur con México y Michoacán, y hacia el oeste con

Guanajuato. Querétaro cuenta con un clima seco en la mayor parte del Estado, con excepción del norte, donde se registra un clima templado, moderado y lluvioso, con temperatura media anual de 18° C.

De acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), durante los próximos 25 años se agregarán ocho ciudades al grupo de zonas metropolitanas cuya población rebasa el millón de habitantes, con lo cual durante los próximos 20 años el número de grandes metrópolis casi se duplicará al pasar de 9 a 17. En ellas se concentrarán 54.4 millones de personas, lo que representa más de la mitad de la población del 2005 en el país, de acuerdo a la CONAPO. Entre estas grandes metrópolis se encuentra Querétaro al registrar en el 2010 a 1.75 millones de habitantes en el Estado, de los cuales 1.25 millones se concentran en la zona metropolitana.

Con base a datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la energía eléctrica consumida en Querétaro por los clientes del sector doméstico es muy similar a la media nacional. Durante el año de 2008, en la ciudad de Querétaro consumieron en promedio 240.5 kWh de energía al mes mientras que la media a nivel nacional fue de 240 kWh al mes durante el mismo año.

Fuentes de información

Para evaluar la disponibilidad de fuentes alternativas de energía (solar y eólica) en el Estado de Querétaro fueron consultadas 2 fuentes de información: SSE (*Surface meteorology and Solar Energy*) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y la Red de Estaciones CEA de la Comisión Estatal de Aguas (CEA) de Querétaro.

La SSE fue empleada para conocer la disponibilidad del recurso solar en el Estado de Querétaro. Es una fuente de información que cuenta con más de 200 reportes satélites procedentes de meteorología y parámetros de energía solar y permite calcular diversos parámetros de radiación solar promedio de 22 años sobre una ubicación geográfica particular.

La Red de Estaciones CEA fue utilizada para conocer la disponibilidad de viento en el Estado de Querétaro. Esta información proviene de datos de un radar meteorológico, 13

estaciones hidroclimatológicas y 22 estaciones meteorológicas distribuidas dentro del Estado. Las estaciones meteorológicas tienen información registrada desde el año 2006 a la fecha. Para evaluar la disponibilidad de viento en Querétaro, con base en los datos registrados, se consideró la información y distribución de 17 (ver Figura 3.4) de las 22 estaciones meteorológicas disponibles.

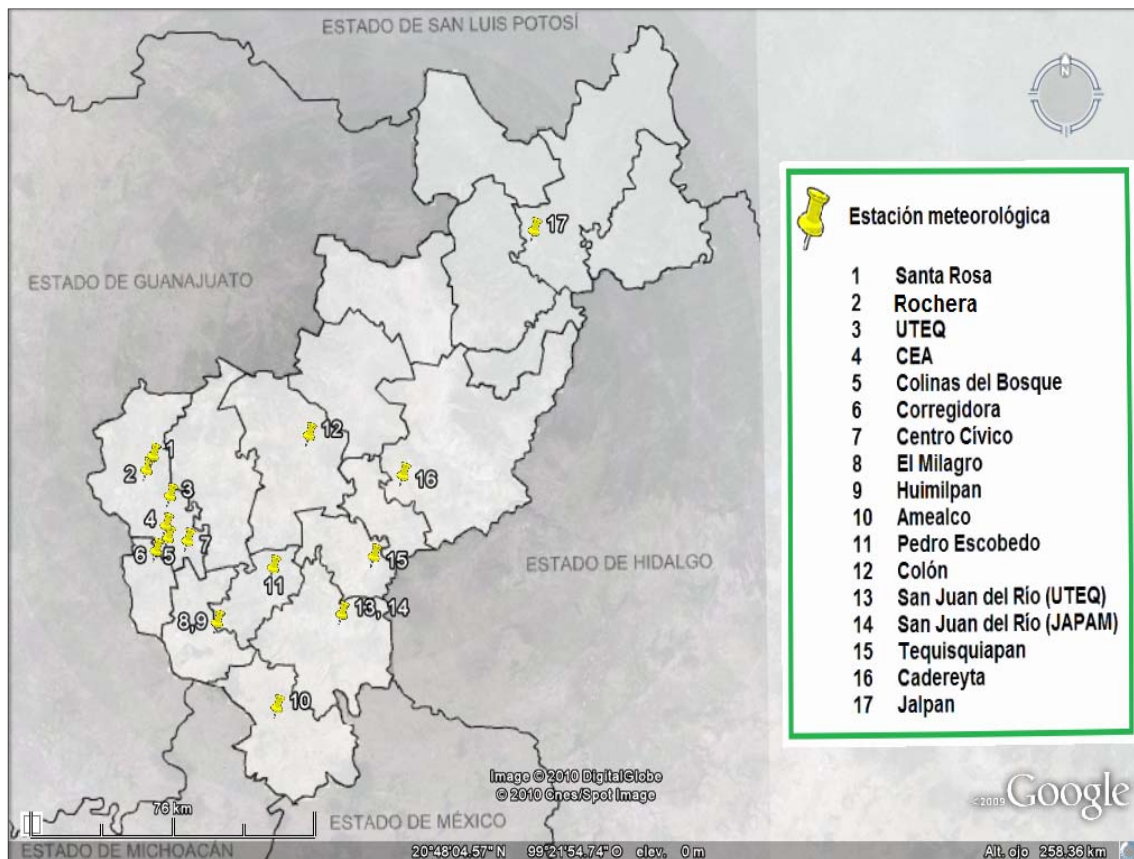


Figura 3.4 Red de estaciones meteorológicas consideradas en el estudio (Luna-Rubio, et al., 2010).

Disponibilidad de fuentes de energía renovables

Para la disponibilidad de energía eólica se calculó el promedio mensual de velocidades de viento en cada una de las estaciones seleccionadas. Posteriormente con dicha información fue simulado el comportamiento de los sistemas híbridos de generación de energía eléctrica a evaluar. En lo que respecta a la energía solar, con la ubicación geográfica de cada una de las

estaciones fue cuantificada la radiación solar típica de un año a partir de datos de Internet. Indicadores de la disponibilidad de energía eólica y solar se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Indicadores de la disponibilidad de energía eólica y solar para cada una de las localidades bajo el estudio

Estación	Ubicación	Velocidad de viento promedio anual (m/s)	Índice de claridad del cielo	Radiación solar diaria (kWh/m ² /d)
Santa Rosa	20°44'N-100°26'O	0.99	0.621	5.828
UTEQ	20°39'N-100°24'O	0.986	0.621	5.828
CEA	20°35'N-100°24'O	0.16	0.639	6.006
Corregidora	20°32'N-100°26'O	1.183	0.639	6.006
Colinas del Bosque	20°32'N-100°26'O	0.81	0.639	6.006
Centro Cívico	20°33'N-100°21'O	2.282	0.639	6.006
Jalpan	21°12'N-99°18'O	0.313	0.571	5.343
Colón	20°49'N-100°03'O	0.408	0.627	5.883
Cadereyta	20°41'N-99°48'O	0.554	0.631	5.921
Tequisquiapan	20°31'N-99°53'O	0.807	0.63	5.921
Pedro Escobedo	20°29'N-100°08'O	0.506	0.633	5.947
El Milagro	20°22'N-100°16'O	1.448	0.611	5.675
Huimilpan	20°22'N-100°16'O	1.024	0.611	5.675
Amealco	20°11'N-100°08'O	1.34	0.596	5.541
San Juan del Río (UTEQ), (JAPAM)	20°23'N-99°59'O	1.266	0.597	5.541

Para realizar la simulación de la carga de energía eléctrica, se monitoreó el perfil de una casa habitación de la ciudad de Querétaro con un consumo promedio de 225 kWh al mes. Con la información obtenida, se generó un perfil de carga promedio diario (Figura 3.5).

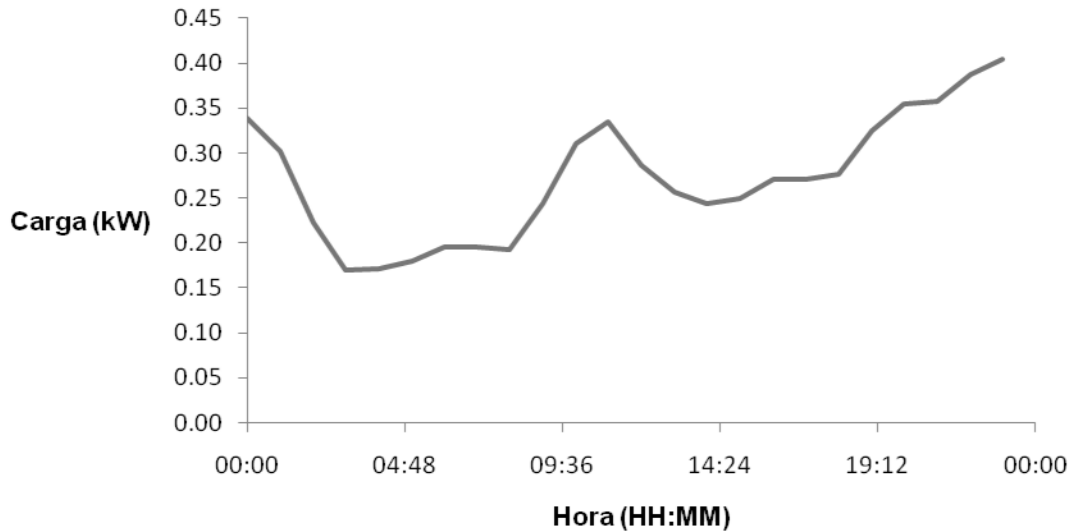


Figura 3.5 Perfil de carga promedio diario considerado como base para las simulaciones.

De acuerdo a la CFE, durante el pasado 2008 el consumo de energía promedio mensual para los clientes de uso doméstico de la ciudad de Querétaro fue de aproximadamente 240 kWh, por lo que para el presente estudio fue escalado el perfil de carga generado para considerar 3 casos: 120 kWh/mes (4 kWh/día), 240 kWh/mes (8 kWh/día), y 360 kWh/mes (12 kWh/día), los cuales representarían perfiles de carga promedio de usuarios de energía eléctrica del sector doméstico con consumos bajo, medio y alto respectivamente.

Herramienta de software HOMER

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) es un software cuyo desarrollo inicio en 1993 por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) de los Estados Unidos. HOMER es un modelo computacional que simplifica las tareas evaluación y optimización de diversas configuraciones de sistemas híbridos de generación y almacenamiento de energía eléctrica, los cuales pueden ser autosuficientes o estar conectados a la red eléctrica.

3.3 Configuración del sistema híbrido de generación y almacenamiento de energía eléctrica (SHGAEE) y restricciones de diseño

Un SHGAEE por lo general se encuentra formado por fuentes renovables de energía trabajando en conjunto con un sistema de suministro de energía de reserva no renovable, y elementos de almacenamiento de energía. Para el presente caso de estudio fue considerado un sistema híbrido que interactúe con la red eléctrica convencional tal como el que se muestra en la Figura 3.6

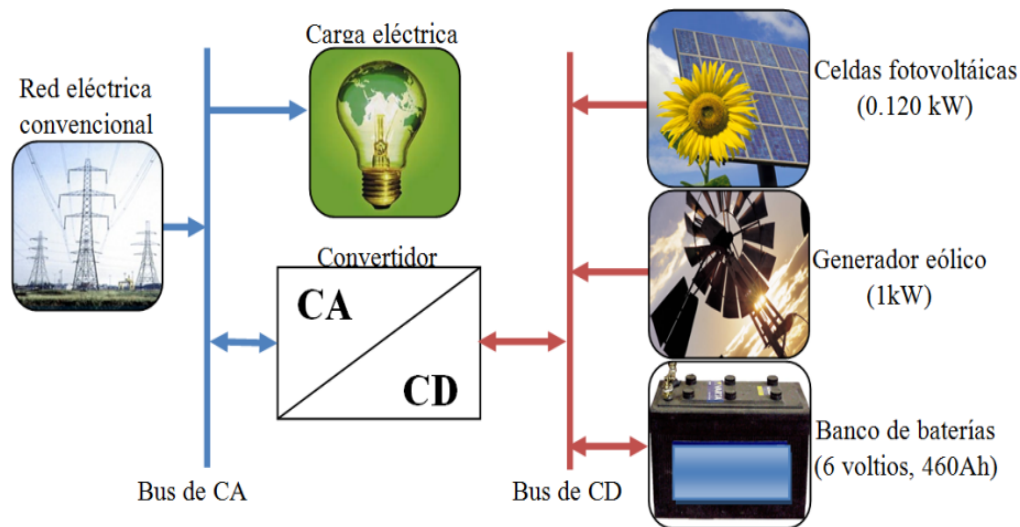


Figura 3.6 Diagrama de flujo de energía para la configuración de sistema a estudiar.

Para el diseño fueron consideradas celdas fotovoltaicas de una capacidad de 0.120 kW a voltaje nominal de 12 voltios a un costo de USD\$432, generadores eólicos con una capacidad de 1 kW a un costo de USD\$3426, baterías de 6 voltios con una capacidad de 460 Ah a un costo de USD\$407. En lo que refiere al convertidor se considera los modelos presentados en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Modelos de convertidor considerados.

Modelo	Capacidad (kW)	Salida de voltaje (VCA)	Costo (USD\$)
SWR-700U w Display	0.700	120	1434
SWR-1800U w Display	1.800	120	1851
OutBack 3724	3500	120	2600

Las restricciones de diseño básicamente son de dos tipos: reserva de operación y fracción de capacidad de escases (FCE).

La reserva de operación hace referencia a la capacidad de reserva de energía adicional que el sistema contempla para repentinos incrementos en la demanda de energía eléctrica ó para súbitos decrementos en la disponibilidad de fuentes de energía. Para el presente estudio fue considerado una reserva de carga eléctrica horaria de un 10% tal como lo recomienda en (Cotrell, et al., 2003).

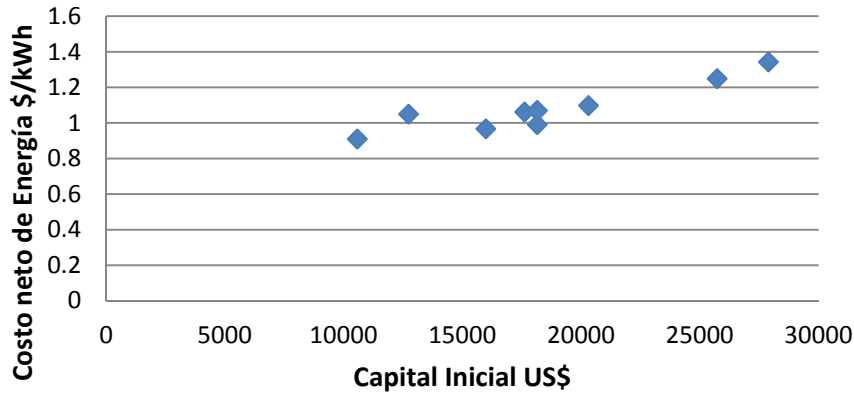
La FCE hace referencia a la fracción del total de carga más la energía de reserva del sistema de generación que lo hace fallar, es decir, la probabilidad de que el sistema de generación no sea capaz de suministrar la energía requerida para nuestra aplicación. Es decir, la probabilidad de requerir servicio de interconexión a la red eléctrica convencional para cubrir la demanda de energía eléctrica. Para el presente estudio fue variándose la FCE en el proceso de diseño, tomando valores de 0, 10, 20, 25, y 50%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

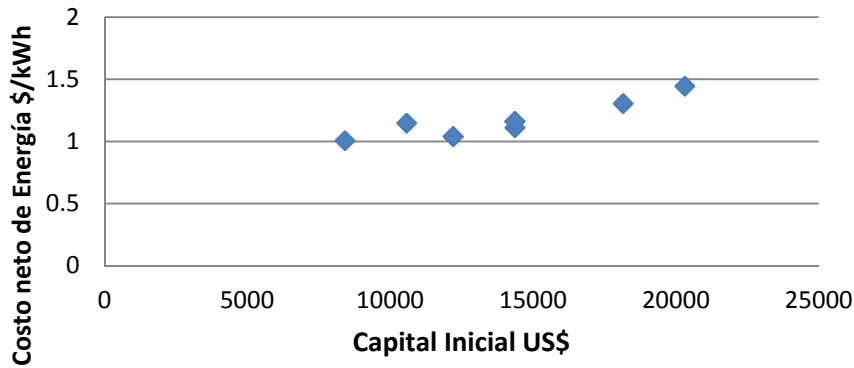
Tomando en cuenta los 3 casos de demanda eléctrica establecidos (4 kWh/día, 8 kWh/día, y 12 kWh/día), los valores máximos y mínimos promedio de velocidad de viento y radiación solar de las localidades consideradas, y los distintos niveles de FCE (0, 10, 20, 25, y 50%) como restricciones de diseño, fue obtenida la mejor arquitectura y dimensiones de un SHGAEE que cumpla con las especificaciones de diseño. Las soluciones que presentaron un menor capital inicial y que al mismo tiempo cumplieron con los requerimientos de diseño se presentan en la Figura 4.1. En dicha gráfica, cada punto corresponde a una configuración particular de SHGAEE capaz de cubrir la demanda de energía, en esta figura es asociado la demanda energética, la inversión inicial del sistema, y el costo nivelado de energía (CNE), el cual es definido como el costo medio por kWh de la energía producida por el sistema. Dicho valor es de importancia porque nos permite comparar el valor de la electricidad producida por el sistema diseñado con la energía suministrada por la red eléctrica convencional. Para el caso particular, tomaremos como referencia el valor medio que presenta la energía eléctrica (sin subsidio) para la tarifa 1 del servicio doméstico de CFE durante el pasado 2010 (aproximadamente 0.204 USD\$/kWh).

Consumo promedio de 12kWh/d



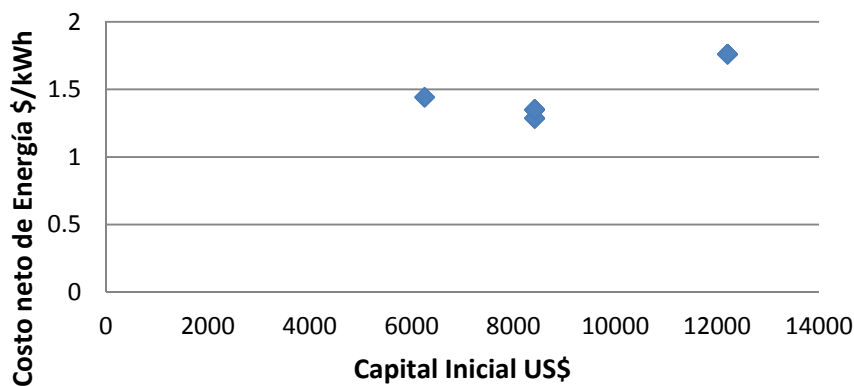
A)

Consumo promedio de 8kWh/d

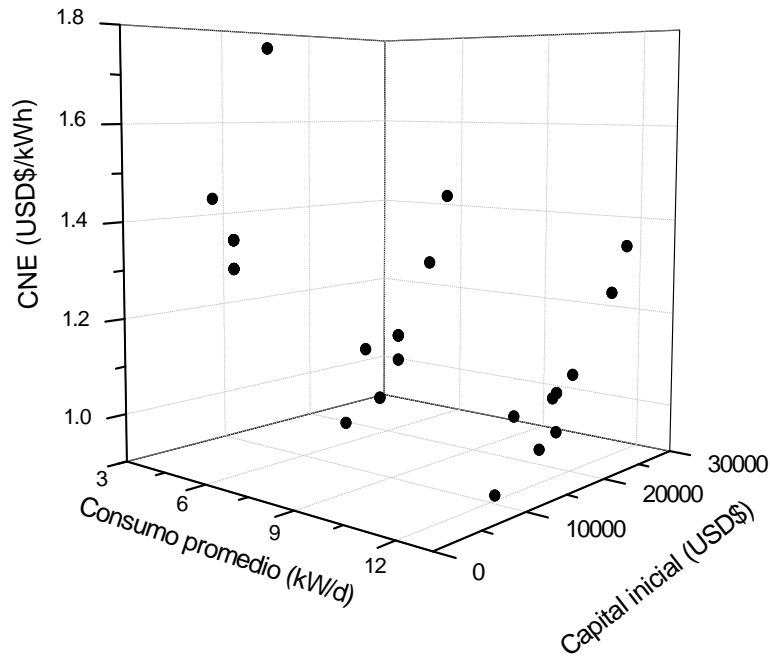


B)

Consumo promedio de 4kWh/d



C)



D)

Figura 4.1 A) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 12 kWh/d. B) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 8 kWh/d. C) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas para el usuario con un consumo promedio de 4 kWh/d. D) Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas y los 3 consumos promedio de energía considerados.

Tabla 4.1 Configuraciones de SHGAEE optimizadas para el Estado de Querétaro considerando las restricciones de diseño especificadas.

Carga eléctrica promedio (kWh/día)	FCE (%)	Radiación solar (kWh/m ² /d)	Paneles fotovoltaicos (kW)	Número de baterías	Convertidor (kW)	Capital inicial (USD\$)	CNE (USD\$/kWh)
12	50	6.01	1.8	4	3.5	10,573.00	0.91
8	50	6.01	1.2	4	3.5	8,413.00	1.006
4	20	6.01	1.2	4	3.5	8,413.00	1.167

Tal como se aprecia en la Figura 4.1, los usuarios con mayor potencial para generar energía eléctrica para su consumo fueron aquellos con la mayor carga eléctrica promedio (12 kWh/día).

V. CONCLUSIONES

La generación promedio diaria (12 kWh) satisface con creces el consumo de una familia promedio de 4 miembros adultos sin restricción alguna sobre dicho consumo. El diseño de un Sistema Híbrido para una vivienda particular se debe hacer con base en el cálculo del consumo diario promedio de energía eléctrica a lo largo de cuando menos un año; dicha información está disponible para los usuarios en los recibos expedidos por la CFE.

En términos económicos, el sistema resulta altamente redituable. La vida útil o período durante el cual la eficiencia de los módulos decae al 85% de la original, varía entre 20 y 25 años. La inversión inicial se recupera en un lapso que va de 9 a 10 años, al considerar los costos de energía en el 2008. Como la posibilidad de que los costos de la energía eléctrica se mantengan fijos es irreal y que sin duda alguna éstos seguirán subiendo, la recuperación se logrará en un lapso de tiempo menor al mencionado. Aún así, una vez recuperada la inversión original, se dispondrá al menos de entre 10 y 14 años de consumo de energía eléctrica, sin desembolso de por medio. En la experiencia que se presenta, el ahorro mensual promedio, a precios de 2008, fue de \$1,100.00 M.N. Actualmente, el costo de un sistema es de \$80,000.00 M.N., inferior a la mitad de lo invertido en el 2008; la tendencia del costo a la baja lleva más de 8 años y se considera irreversible. También existen en el mercado otras opciones a un menor costo.

Con base en las condiciones climáticas de los 17 puntos de referencia considerados a lo largo del Estado de Querétaro, el consumo promedio de los usuarios del sector doméstico de energía eléctrica de la región, así como en simulaciones realizadas con la ayuda de la herramienta de software HOMER, fue observada la inviabilidad técnica y económica de los generadores eólicos en los diseños de SHGAEE propuestos para el Estado de Querétaro. Los resultados muestran que los sistemas de generación de energía diseñados para usuarios con alto consumo de electricidad son los que presentan menor CNE. Por lo tanto, es en esta clase de consumidores en la que podría haber un área de oportunidad para crear políticas que fomenten el desarrollo de esta clase de sistemas.

La actual política energética vigente en México, sigue anclada en el sustento de hidrocarburos, continua basada en las falsas expectativas de combustibles fósiles inagotables creada desde la década de los 70's. Ello ha originado que el gobierno federal utilice al subsidio como una herramienta para controlar los precios de hidrocarburos y electricidad en los últimos años. Para muestra de ello, el subsidio anual al consumo de energéticos en México ascendió a 200.4 miles de millones de pesos¹ durante el período 2005-2009, de los cuales, el 63% de dichos subsidios fueron para electricidad, el 31% para gasolina y diesel y el resto para gas LP. Durante este período de tiempo referido, los subsidios a energéticos en México alcanzaron un máximo histórico de 392 mil millones de pesos.

No se encuentra definida una política de transición energética en México.

A partir de 2008 CFE (con la ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética) tiene la política de no oponerse a las fuentes alternas de energía; sin embargo, no las apoya.

Hacen falta promover el uso de fuentes alternas de energía mediante incentivos fiscales o financiamientos.

De acuerdo al sistema de información energética de México, los clientes consumidores de energía eléctrica del sector doméstico de todo el país consumieron en promedio 4.67 kWh/día durante el período de 2004 a 2011, por lo que los casos considerados de 4, 6 y 12 kWh/día cubren fácilmente dicha demanda energética.

¹ A precios constantes de 2009 con base en el deflactor del PIB

BIBLIOGRAFÍA

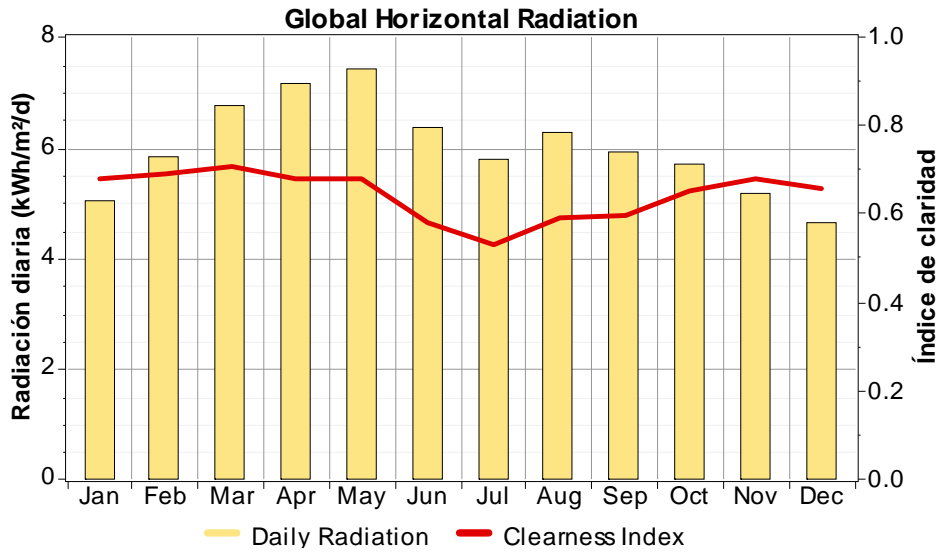
- Al-Saleh, Y., 2009. Renewable energy scenarios for mayor oil-producing nations: The case of Saudi Arabia. *Futures* 9 (41), 650-662.
- Arteconi, A., Brandoni, C., Polonara, F., 2009. Distributed generation and trigeneration: Energy saving opportunities in Italian supermarket sector. *Applied Thermal Engineering* 8-9 (29), 1735-1743.
- Bazán-Perkins, S.D., Fernández-Zayas, J.L., 2008. Evaluation of Mexico's 1975-200 energy plan. *Energy Economics* 30, 2569-2586.
- Borowy, B.S., Salameh, Z.M., 1996. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2 (11), 367-373.
- Bouffard, F., Kirschen, D.S., 2008. Centralized and distributed electricity systems. *Energy Policy* 12 (36), 4504-4508.
- Boykoff, M.T., 2008. The cultural politics of climate change discourse in UK tabloids. *Political Geography* 27 (5), 549-569.
- Cancino-Solórzano, Y., *et al.*, 2010. Electricity sector in Mexico: Current status. Contribution of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1), 454-461.
- Celik, A.N., 2003. Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid systems using different sizing methods. *Energy Conversion and Management* 12 (44), 1951-1968.
- Cinar, D., Kayakutlu, G., Daim, T., 2010. Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: Case of hydro in Turkey. *Energy* 4 (35), 1724-1729.
- Connolly, D., *et al.*, 2010. A review of computer tools for analyzing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy* 4 (87), 1059-1082.
- Cotrell, J., Pratt, W., 2003. Modeling the feasibility of using fuels cells and hydrogen internal combustion engines in remote renewable energy systems. National Renewable Energy Laboratory, Windpower conference and exposition.
- Dalton, G.J., Lockington, D.A., Baldock, T.E., 2009. Case study feasibility of renewable energy supply options for small to medium-size tourist accommodations. *Renewable Energy* 4 (34), 1134-1144.
- Del Río, P., Burguillo, M., 2008. Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 1325-1344.

- Devesas, T., *et al.*, 2008. Energy scenarios: Toward a new energy paradigm. *Futures* 1 (40), 1-16.
- Di Stefano, J., 2000. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Australia. *Energy* 9 (25), 823-839.
- Dincer, I., Rosen, M.A., 2005. Thermodynamic aspects of renewable and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 169–189.
- Eastin, J., Grundmann, R., Prakash, A., 2010. The two limits debates: Limits to growth and climate change. *Futures* 43, 16-26.
- Floyd, J., Zubevich, K., 2010. Linking foresight and sustainability: An integral approach. *Futures* 42, 59-68.
- Gugliermetti, F., Bisegna, F., 2006. Daylighting with external shading devices: design and simulation algorithms. *Building and Environment* 2 (41), 135-149.
- Hirst, E., Goldman, C., 1991. Creating the future: integrated resource planning for electric utilities. *Annual Review of Energy* 16, 91–121.
- Huacuz, J.M., 2005. The road to green power in Mexico - reflections on the prospects for the large-scale and sustainable implementation of renewable energy. *Energy Policy* 16 (33), 2087-2099.
- Kammen, D.M., 2010. 2020 visions. *Nature* 7 (463), 26-32.
- Kämpf, J.H., Robinson, D., 2009. A hybrid CMA-ES and HDE optimization algorithm with application to solar energy potential. *Applied Soft Computing* 2 (9), 738-745.
- Kolokotsa, D., *et al.*, 2010. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy* doi:10.1016/j.solener.2010.09.001.
- Luna-Rubio, R., *et al.*, 2010. Dimensionamiento óptimo de sistemas de generación de energía eléctrica basados en fuentes renovables: una revisión de técnicas de optimización. *Simpósio Internacional Sobre Energías Renovables y Sustentabilidad*. - Temixco, Morelos, México : Centro de Investigación en Energía, UNAM, 2010.
- Luna-Rubio, R., *et al.*, 2009. Lighting Automatic Control System for Intelligent Buildings. *International Review of Automatic Control (Theory and Applications)* 4 (2), 469-476.
- Luna-Rubio, R., Ulloa-Raygoza, M. A., 2010. Meteorología como una herramienta para el desarrollo de redes eléctricas inteligentes: caso del diseño de sistemas de generación. *La importancia de hidrometeorología en el entorno económico-social* 1 (1), 163-178.

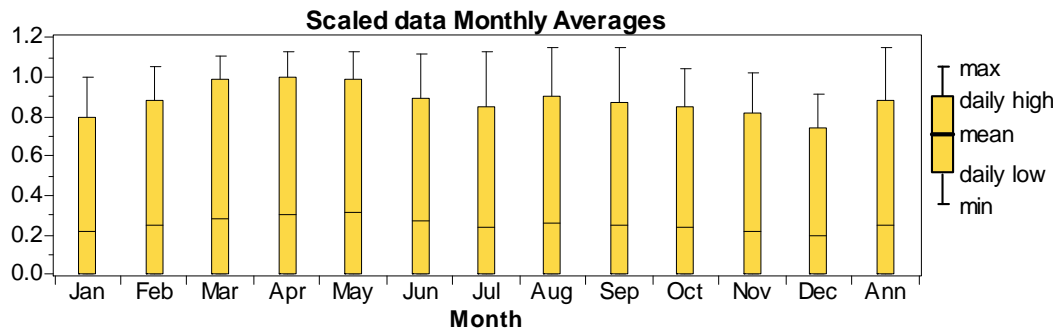
- Luss, H., 1982. Operations research and capacity expansion problems: a survey. *Operations Research* 5 (30), 907–947.
- Matutinovic, I., 2009. Oil and the political economy of energy. *Energy Policy* 11 (37), 4251-4258.
- Michalak, P., Zimny, J., 2011. Wind energy development in the world, Europe and Poland from 1995 to 2009; current status and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2330-2341.
- Midilli, A., Dincer, I., Ay, M., 2006. Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy* 18 (34), 3623–3633.
- Muller-Furstenberger, G., Wagner, M., 2007. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: theoretical and economical problems. *Ecological Economics* 62 (3-4), 648-660.
- Ockwell, D.G., 2008. Energy and economic growth: Grounding our understanding in physical reality. *Energy Policy* 36, 4600-4604.
- Roth, S., *et al.*, 2009. Sustainability of electricity supply technology portfolio. *Annals of Nuclear Energy* 3 (36), 409-416.
- Sioshansi, F.P., 2010. *Generating electricity in a carbon-constrained world*. Academic Press.
- Sovacool, B.K., 2010. Exploring the hypothetical limits to nuclear and renewable electricity future. *International Journal of Energy Research* 13 (34), 1183-1194.
- Tina, G., Gagliano, S., Raiti, S., 2006. Hybrid solar/wind power system probabilistic modeling for long-term performance assessment. *Solar Energy* 80, 578–588.
- Van Dyk, E.E., *et al.*, 2002. Long-term monitoring of photovoltaic devices. *Renewable Energy* 2 (25), 183-197.
- Vasileiadou, E., Safarzynska, K., 2010. Transitions: Taking complexity seriously. *Futures* 42, 1176-1186.
- Witze, A., 2007. That’s oil, folks. *Nature* 445, 14-17.
- Wong, J., Li, H., Lai, J., 2008. Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems Part 1: Development of key intelligent indicators and conceptual analytical framework. *Automation in Construction* 3 (17), 284-302.
- Yang, H.X., Lu, L., Burnett, J., 2003. Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems in Hong Kong. *Renewable Energy* 11 (28), 1813-1824.

- Yang, H.X., Lu, L., Zhou, W., 2007. A novel optimization sizing model for hybrid solar–wind power generation system. *Solar Energy* 1 (81), 76–84.
- Yang, H.X., Zhou, W., Lou, C., 2009. Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar-wind power generation system. *Applied Energy* 2 (86), 163-169.
- Zhou, W., Yang, H.X., Fang, Z.H., 2007. A novel model for photovoltaic array performance prediction. *Applied Energy* 84, 1187–98.

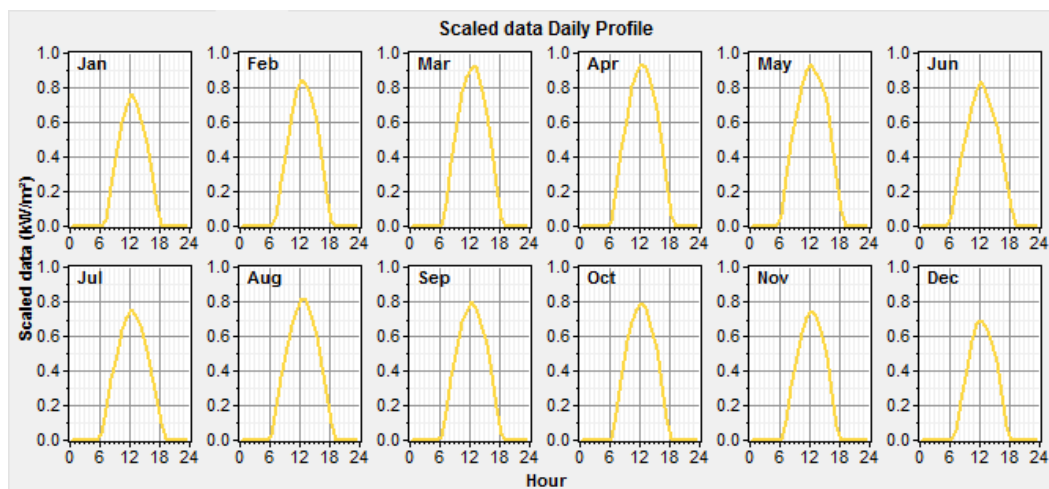
APÉNDICE A



A)

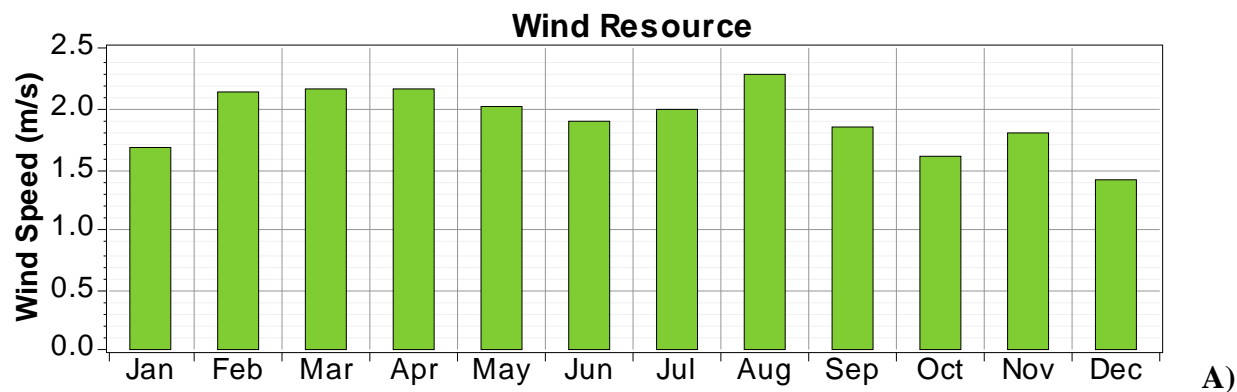


B)

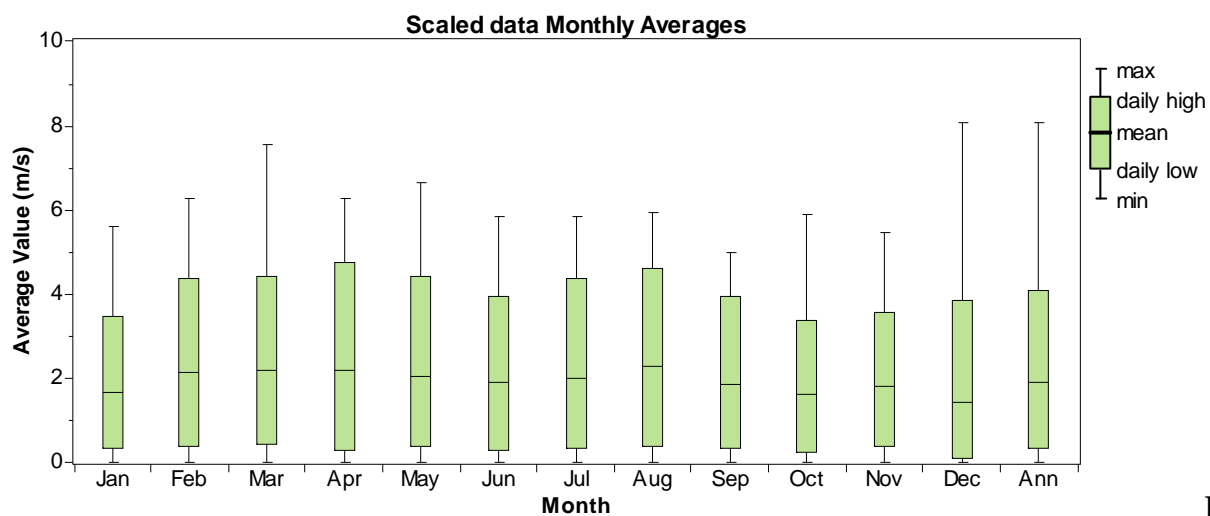


C)

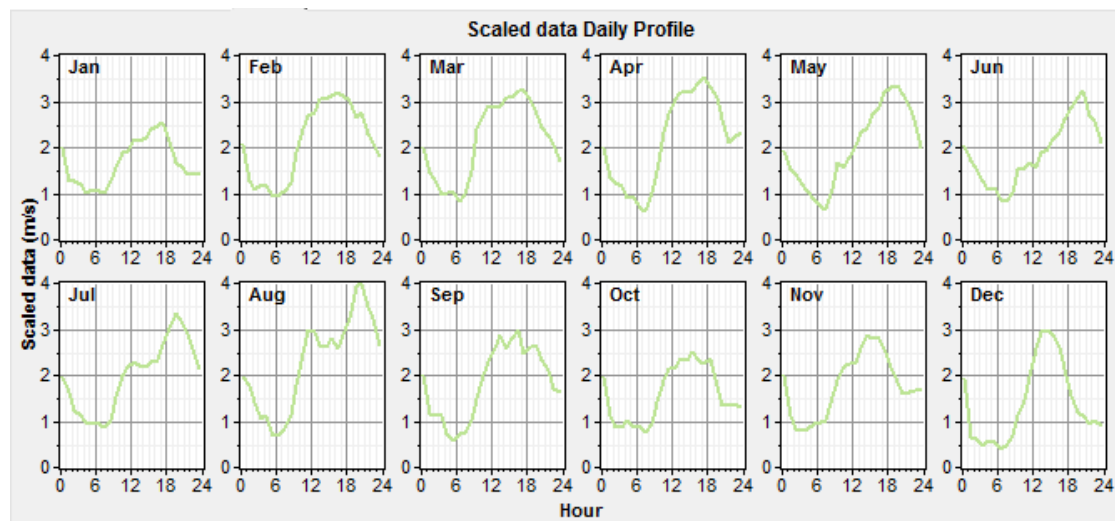
Figura A.1 Recurso solar considerado en el presente estudio. A) radiación global horizontal. B) valores mensuales. C) Perfiles promedio mensual por horas.



A)



B)



C)

Figura A.2 Recurso eólico considerado en el presente estudio. A) recurso mensual eólico. B) valores mensuales. C) Perfiles promedio mensual por horas.

APÉNDICE B

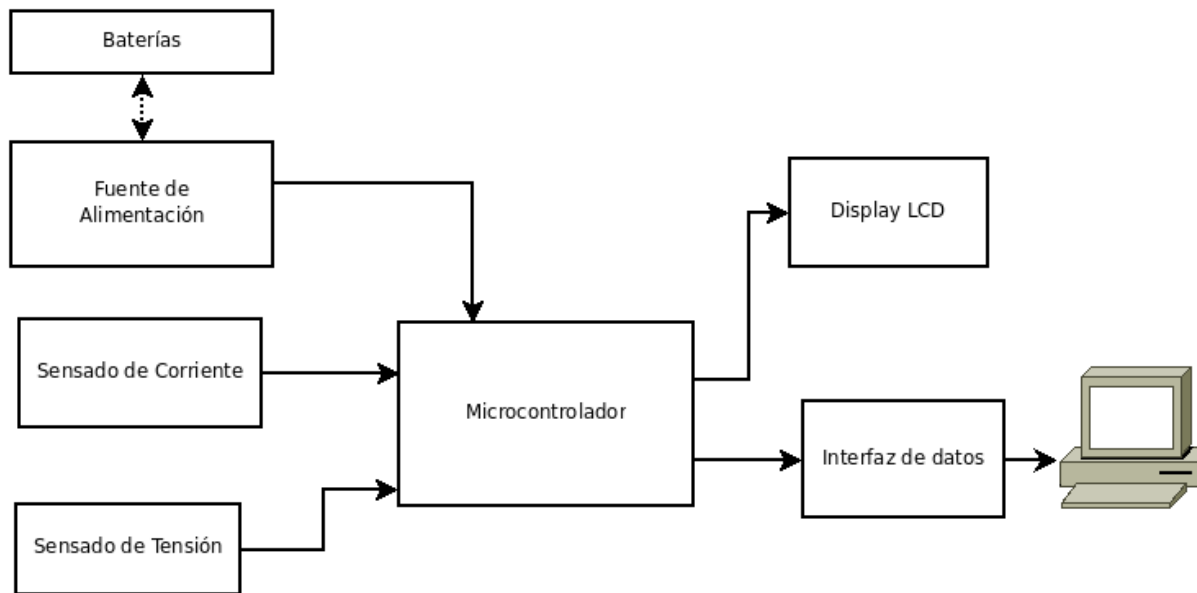


Figura B.1 Diagrama a bloques general del medidor de parámetros eléctricos propuesto.

La construcción de éste prototipo tiene como objetivo mostrar valores reales de la potencia consumida en el circuito eléctrico de la casa a muestrear. Su principal elemento es un chip programable (STPM01) diseñado para la medición efectiva de la energía activa, reactiva y aparente de un sistema de alimentación. El prototipo consta de una parte de sensado (corriente y voltaje) que se hará por medio de transformadores, cuya información será filtrada y analizada por el chip, mostrando los valores en un display de las tres energías (activa, reactiva y aparente), por hora, y almacenando los datos en un circuito de memoria mediante una interfaz, que posteriormente serán descargados en un ordenador.

Este prototipo de analizador energía tiene la capacidad de medir en tiempo real la energía consumida y de almacenar dicha información. Como herramienta de uso doméstico puede proporcionar al usuario conocimiento del consumo ya sea por área, aparato o en general de una residencia, y de esta manera saber donde se puede presentar un desperdicio y aprender a controlarlo, propiciando la concientización del uso apropiado de energía en el hogar.

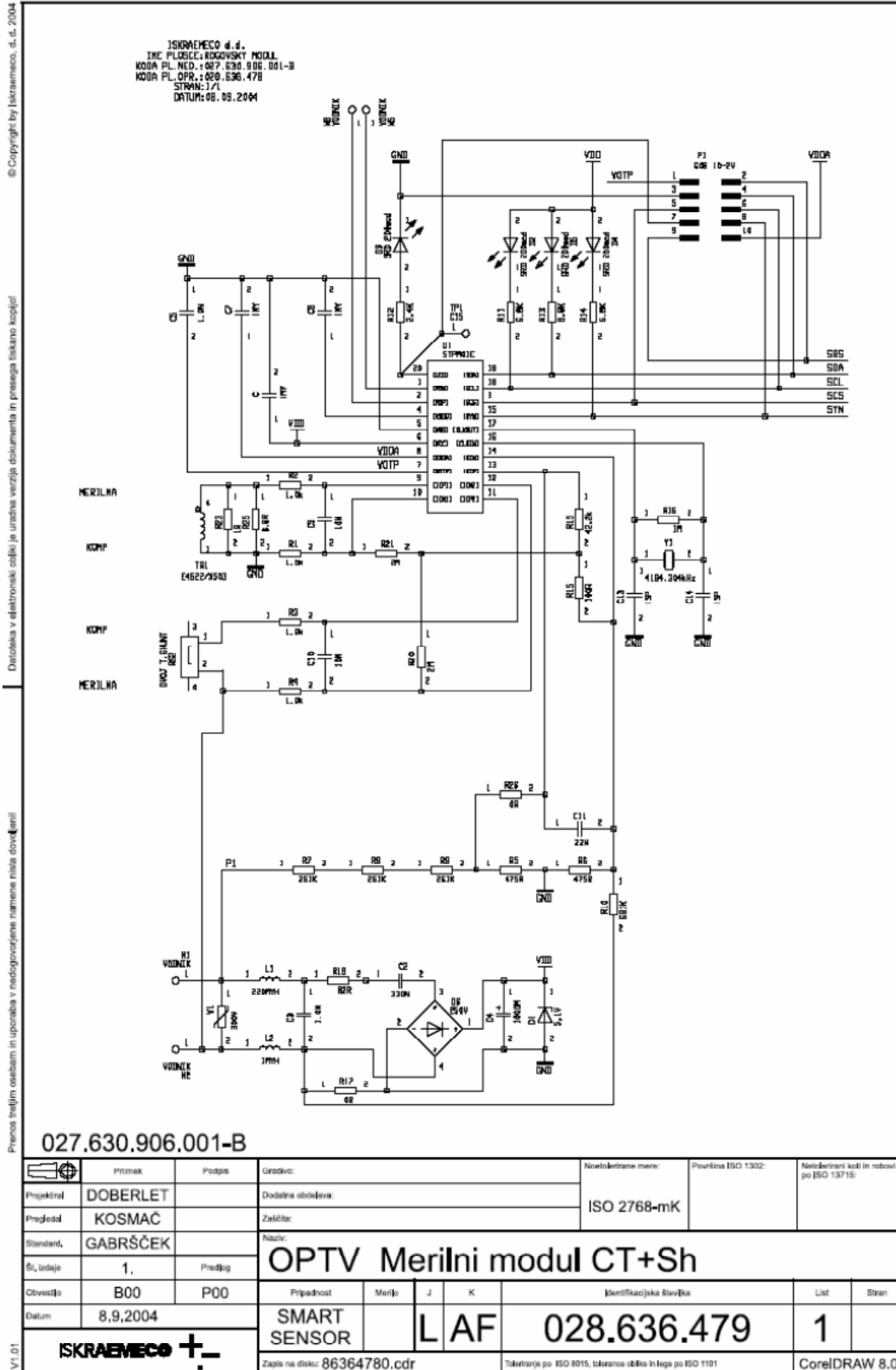
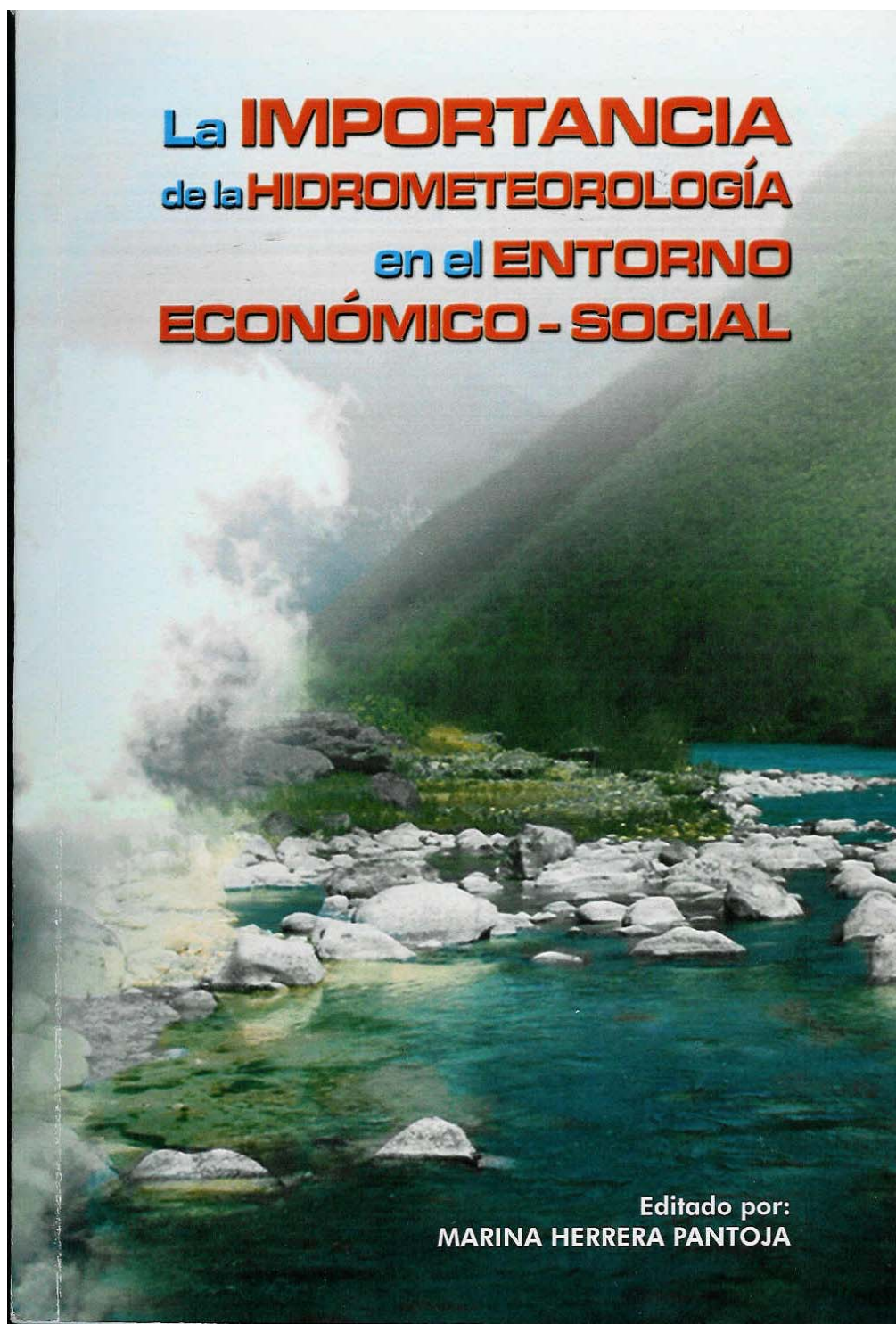
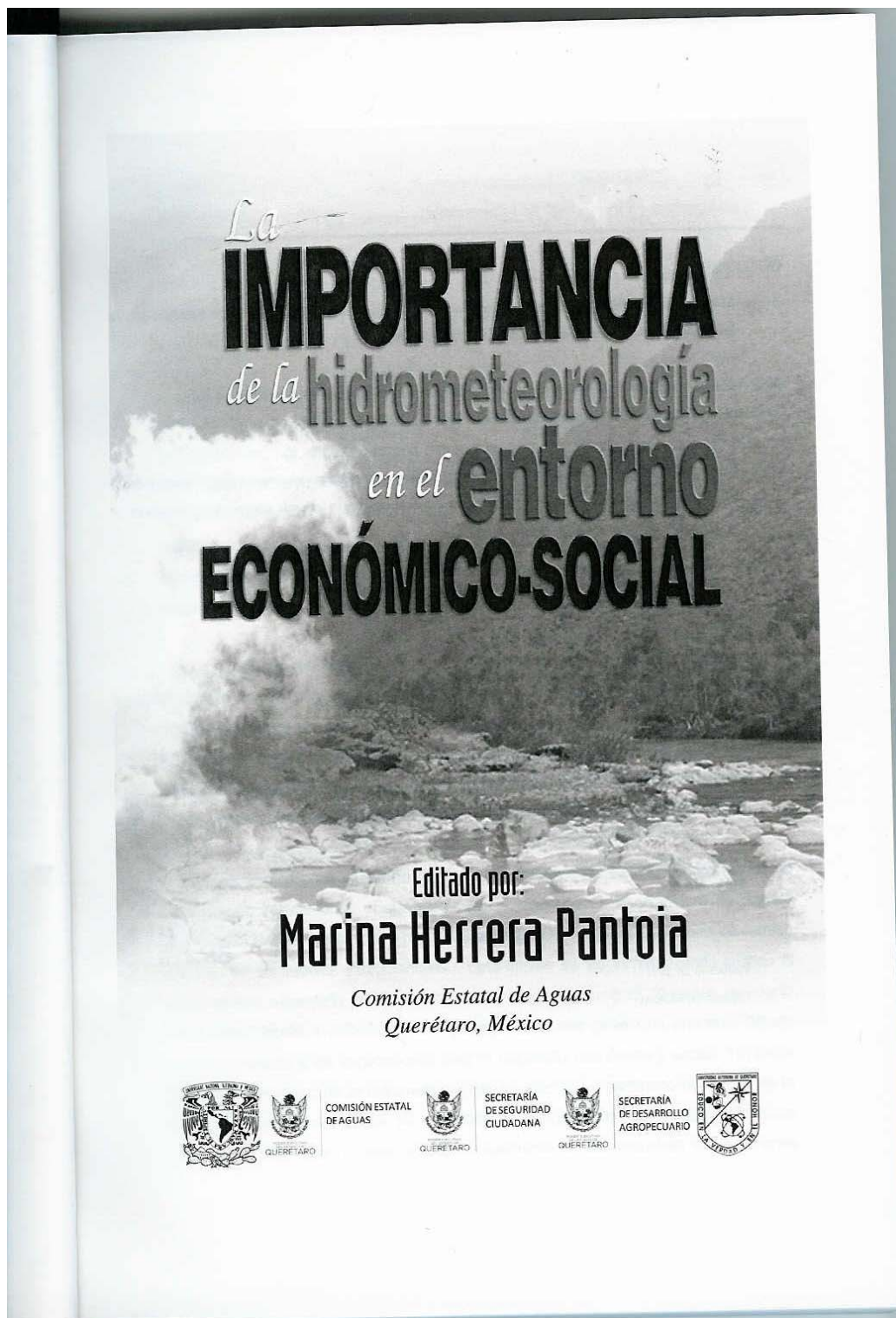


Figura B.2 Diagrama eléctrico del medidor de parámetros eléctricos propuesto.





CAMBIO CLIMÁTICO	
Los sistemas de alerta temprana en el contexto de adaptación al cambio climático global.	107
<i>Michel Rosengaus Moshinsky</i>	
Los impactos del cambio climático en los recursos hídricos de regiones áridas y semiáridas de México	125
<i>Marina Herrera Pantoja</i>	
El calentamiento global de la atmósfera y las tormentas severas.	149
<i>Miguel Ángel Gallegos Benítez</i>	
METEOROLOGÍA COMO HERRAMIENTA DE DESARROLLO	
Meteorología como una herramienta para el desarrollo de redes eléctricas inteligentes: Caso del diseño de sistemas de generación.....	163
<i>R. Luna-Rubio y Mario Alberto Ulloa Raygoza</i>	
Uso de la meteorología para la implementación de técnicas de modelado y predicción de la temperatura interna en edificios públicos.....	179
<i>José Alberto García Chávez, José Gabriel Ríos Moreno, Damián Vargas Vázquez, Gilberto Herrera Ruiz y Mario Trejo Perea</i>	
Medición de la radiación solar en el estado de Querétaro mediante el uso de estaciones meteorológicas Davis Vantage Pro2 Plus.....	195
<i>A. Marroquín de Jesús y J. M. Olivares Ramírez</i>	
CLIMATOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO	
Clima y fruticultura en Querétaro.....	213
<i>Salvador Pérez González</i>	
Uso de variables Climáticas para el sector Agropecuario.	227
<i>Genaro Romero Lomelín</i>	

Meteorología como una herramienta para el desarrollo de redes eléctricas inteligentes: Caso del diseño de sistemas de generación

R. Luna-Rubio¹, Mario Alberto Ulloa Raygoza²

¹ División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, UAQ.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.
Cerro de las Campanas s/n, CP. 76010, Santiago de Querétaro. Qro., México
Correspondencia: ricardo.luna.rubio@gmail.com

RESUMEN

La generación de energía eléctrica ha entrado en una nueva fase de su evolución, la cual se puede caracterizar principalmente por una mayor preocupación sobre el cambio climático, una transición de una economía basada en hidrocarburos a una basada en fuentes de energía alternas y un uso eficiente de energía. Las redes eléctricas inteligentes nacen como una opción tanto para promover el uso de fuentes alternas de energía, así como también para mejorar la eficiencia energética. Un rasgo distintivo de este nuevo paradigma es el flujo bidireccional de energía e información, convirtiendo al consumidor en un actor con participación dentro la red. Lo anterior resulta al darle la libertad de generar energía mediante fuentes alternas (fotovoltaica y eólica) para su consumo y venta a la compañía proveedora del servicio de electricidad. El hacer este pequeño cambio implica una tarea colosal que trae consigo numerosos retos, uno de los cuales es el diseñar de manera óptima sistemas de generación de energía eléctrica híbridos a pequeña escala que le permitan al consumidor realizar esta tarea de interconexión a la red eléctrica. El presente trabajo muestra la manera en que la meteorología toma un papel importante en el diseño de esta clase de sistemas.

PALABRAS CLAVE: sistemas híbridos de energía, estudios tecno-económicos, meteorología, redes eléctricas inteligentes.

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento económico, al incremento en la población mundial, y a los modernos estilos de vida, la demanda de energía eléctrica ha presentado un crecimiento exponencial en los últimos años (Omer, 2008). Hoy en día alrededor del mundo, el 80% de la demanda de energía es cubierta por combustibles fósiles (Muller-Furstenberger y Wagner, 2007). Los hidrocarburos son una fuente de energía no renovable, por lo tanto hay dos problemáticas principales en el uso de este recurso: (1) la sustentabilidad; (2) la responsabilidad por cubrir las demandas de petróleo a nivel mundial (Esmaili y Abdollahzadeh., 2009). Tomando en cuenta el agotamiento del petróleo, la creciente población, y la creciente demanda de energía eléctrica, la generación de energía eléctrica ha entrado en una nueva fase de evolución, la cual puede ser caracterizada principalmente por una mayor preocupación sobre el cambio climático, por una mayor eficiencia en el uso de energía, así como también, por una transición de una economía basada en hidrocarburos a una basada en fuentes alternas de energía (Cinar et al., 2010; Eastin et al., 2010; Al-Saleh, 2009; Arteconi et al., 2009; Matutinovic, 2009; Roth et al., 2009; Bazán-Perkins y Fernández-Zayas, 2008; Bouffard y Kirschen, 2008; Midilli et al., 2006; Huacuz, 2005). Por lo anterior, para hacer un uso eficiente de la energía eléctrica hay un creciente interés en optimizar el diseño de asentamientos urbanos mediante la explotación de fuentes naturales de energía (e.g. energía solar y eólica) así como también mediante el desarrollo de sistemas de administración de energía en edificios (Kolokotsa et al., 2010; Kampf y Robinson, 2009; Luna-Rubio et al., 2009; Wong et al., 2008; Gugliermetti y Bisegna, 2006; Wong et al., 2005; di Stefano, 2000).

Adicionalmente, las redes eléctricas se encuentran en una etapa de transición en la cual necesitan ser más dinámicas y flexibles en todos sus niveles, desde la generación hasta el consumidor final, buscando mejorar la eficiencia en el uso de energía, alcanzar una respuesta a la demanda inteligente, y promover esquemas de generación distribuida en el que se permita la explotación de fuentes alternas de energía (Castillo-Cagigal et al., 2011; Järventausta et al., 2010). Debido a lo anterior, nace el paradigma de redes eléctricas inteligentes, las cuales se pueden caracterizar principalmente por un flujo bidireccional de energía e información, convirtiendo al consumidor en un actor con

participación dentro la red. Lo anterior resulta al darle la libertad de generar energía mediante fuentes alternas (fotovoltaica y eólica) para su consumo y venta a la compañía proveedora del servicio de electricidad.

En México, los consumidores de energía eléctrica se clasifican en 5 grandes sectores: doméstico, comercial, servicios, agrícola e industrial. De acuerdo al Sistema de Información Energética (SIE), el sector doméstico representa el segundo con mayor demanda al registrar en el 2009 un 28% del total de las ventas de energía eléctrica. Por otro lado, es el sector que mayor número de clientes tiene al representar un 88% de los contratos registrados.

La Tierra parece tener la suficiente capacidad como para cubrir la actual demanda mundial de energía eléctrica mediante la explotación de fuentes alternas (Cho, 2010). Sin embargo, debido a su distribución espacial y a su disponibilidad estocástica en la naturaleza, hace difícil la viabilidad de cubrir la demanda de energía mediante una sola fuente alterna. Lo anterior cambia si son consideradas dos o más fuentes de energía considerando, en los cuales al menos una de ellas funciona de respaldo para los momentos en los que hay una disminución o ausencia de alguna fuente alterna. Debido a lo anterior, resulta de vital importancia el uso de la meteorología para un correcto diseño en de sistemas de generación de energía eléctrica basados en fuentes alternas de como la solar o eólica.

Por lo anterior, en el presente trabajo son diseñados sistemas de generación de energía a pequeña escala, los cuales permitan a los consumidores del sector doméstico en México generar en su hogar parte de la electricidad que consumen. El caso de estudio es para las condiciones particulares de usuarios localizados en la Ciudad de Querétaro, México. El sistema propuesto favorece la transición a esquemas de distribución de energía eléctrica novedosos, como las llamadas redes eléctricas inteligentes, con las cuales no solo se mejora la eficiencia del sistema de generación de energía eléctrica, sino que al mismo tiempo se favorece la transición al uso de fuentes de energía alternas.

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado bajo las condiciones climáticas y de demanda de energía eléctrica del Estado de Querétaro, el cual se ubica en el centro de México en la región conocida como "El Bajío". El Estado de Querétaro está localizado entre los paralelos 20° 01' 02" y 21°40' latitud norte y los meridianos 99° 03' 23" y 100° 36' longitud oeste. Limita al noreste con San Luis Potosí, al este con Hidalgo, al sur con México y Michoacán, y hacia el oeste con Guanajuato. Querétaro cuenta con un clima seco en la mayor parte del Estado, con excepción del norte, donde se registra un clima templado, moderado y lluvioso, con temperatura media anual de 18° C.

De acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO,2000), durante los próximos 25 años se agregarán ocho ciudades al grupo de zonas metropolitanas cuya población rebasa el millón de habitantes, con lo cual durante los próximos 20 años el número de grandes metrópolis casi se duplicará al pasar de 9 a 17. En ellas se concentrarán 54.4 millones de personas, lo que representa más de la mitad de la población del 2005 en el país, de acuerdo a la CONAPO. Entre estas grandes metrópolis se encuentra Querétaro al registrar en el 2010 1.75 millones de habitantes en el Estado de los cuales 1.25 millones se concentran en la zona metropolitana.

Con base a datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la energía eléctrica consumida en Querétaro por los clientes del sector doméstico es muy similar a la media nacional. Durante el año de 2008, en la ciudad de Querétaro se consumieron en promedio 240.5 kWh de energía al mes mientras que la media a nivel nacional fue de 240 kWh al mes durante el mismo año.

Fuentes de información

Para evaluar la disponibilidad de fuentes alternativas de energía (solar y eólica) en el Estado de Querétaro fueron consultadas 2 fuentes de información: la Surface meteorology and Solar Energy (SSE) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y la Red de Estaciones de la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (CEA).

La SSE fue empleada para conocer la disponibilidad del recurso solar en el Estado de Querétaro. Es una fuente de información que cuenta con más de 200 reportes satélites procedentes de meteorología y parámetros de energía solar y permite calcular diversos parámetros de radiación solar promedio de 22 años sobre una ubicación geográfica particular.

La Red de Estaciones CEA fue utilizada para conocer la disponibilidad de viento en el Estado de Querétaro. Esta información proviene de datos de un radar meteorológico, 13 estaciones hidroclimatológicas y 22 estaciones meteorológicas distribuidas dentro del Estado. Las estaciones meteorológicas tienen información registrada desde el año 2006 a la fecha. Para evaluar la disponibilidad de viento en Querétaro, con base en los datos registrados, se consideró la información y distribución de 17 de las 22 estaciones meteorológicas disponibles (Figura 1)

Disponibilidad de fuentes de energía renovables

Para la disponibilidad de energía eólica se calculó el promedio mensual de velocidades de viento en cada una de las estaciones seleccionadas. Posteriormente con dicha información fue simulado el comportamiento de los sistemas híbridos de generación de energía eléctrica a evaluar. En lo que respecta a la energía solar, con la ubicación geográfica de cada una de las estaciones fue cuantificada la radiación solar típica de un año a partir de datos de Internet. Los indicadores de la disponibilidad de energía eólica y solar se presentan en la Tabla 1. Para realizar la simulación de la carga de energía eléctrica, se monitoreó el perfil de una casa habitación de la ciudad de Querétaro con un consumo promedio de 225 kWh al mes. Con la información obtenida, se generó un perfil de carga promedio diario y tomado como referencia para las simulaciones (Figura 2).

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

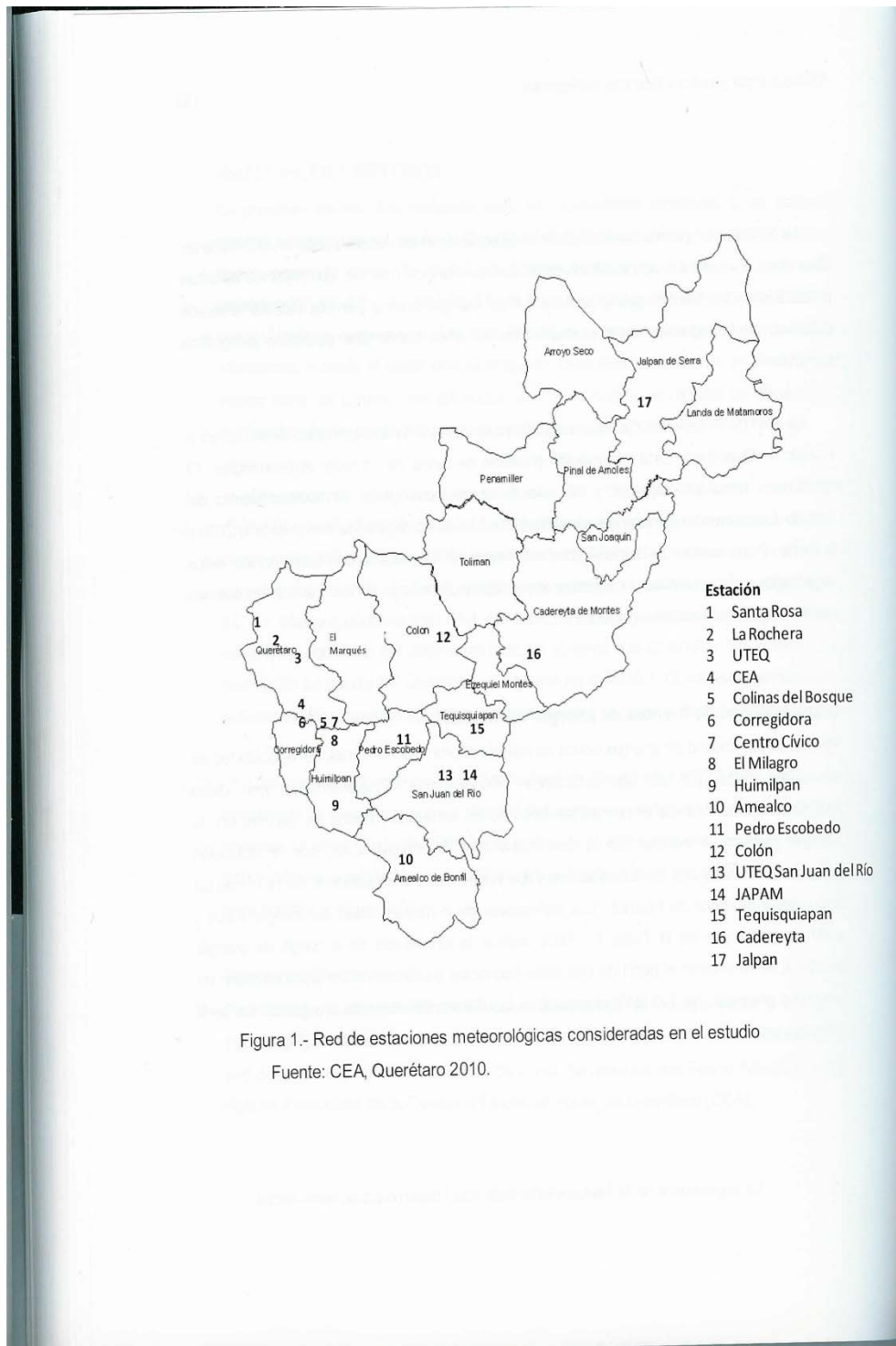


Figura 1.- Red de estaciones meteorológicas consideradas en el estudio

Fuente: CEA, Querétaro 2010.

Tabla 1. Indicadores de la disponibilidad de energía eólica y solar para cada una de las localidades bajo el estudio

Estación	Ubicación	Velocidad de viento promedio anual (m/s)	Índice de claridad del cielo	Radiación solar diaria (kWh/m ² /d)
Santa Rosa	20°44'N-100°26'O	0.99	0.621	5.828
UTEQ	20°39'N-100°24'O	0.986	0.621	5.828
CEA	20°35'N-100°24'O	0.16	0.639	6.006
Corregidora	20°32'N-100°26'O	1.183	0.639	6.006
Colinas del Bosque	20°32'N-100°26'O	0.81	0.639	6.006
Centro Cívico	20°33'N-100°21'O	2.282	0.639	6.006
Jalpan	21°12'N-99°18'O	0.313	0.571	5.343
Colón	20°49'N-100°03'O	0.408	0.627	5.883
Cadereyta	20°41'N-99°48'O	0.554	0.631	5.921
Tequisquiapan	20°31'N-99°53'O	0.807	0.63	5.921
Pedro Escobedo	20°29'N-100°08'O	0.506	0.633	5.947
El Milagro	20°22'N-100°16'O	1.448	0.611	5.675
Huimilpan	20°22'N-100°16'O	1.024	0.611	5.675
Amealco	20°11'N-100°08'O	1.34	0.596	5.541
San Juan del Río (UTEQ, JAPAM)	20°23'N-99°59'O	1.266	0.597	5.541

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

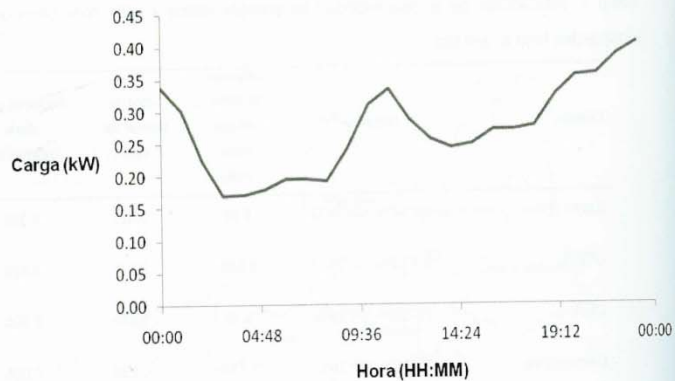


Figura 2. Perfil de carga promedio diario considerado como base para las simulaciones.

De acuerdo a la CFE, durante el pasado 2008 el consumo de energía promedio mensual para los clientes de uso doméstico de la ciudad de Querétaro fue de aproximadamente 240 kWh, por lo que para el presente estudio fue escalado el perfil de carga generado para considerar 3 casos: 120 kWh/mes (4 kWh/día), 240 kWh/mes (8 kWh/día), y 360 kWh/mes (12 kWh/día).

Herramienta de software HOMER

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) es un software cuyo desarrollo inicio en 1993 por el *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) de los Estados Unidos. HOMER es un modelo computacional que simplifica las tareas evaluación y optimización de diversas configuraciones de sistemas híbridos de generación y almacenamiento de energía eléctrica, los cuales pueden ser autosuficientes o estar conectados a la red eléctrica.

Configuración del sistema híbrido de generación y almacenamiento de energía eléctrica (SHGAEE) y restricciones de diseño

Un SHGAEE por lo general se encuentra formado por fuentes renovables de energía trabajando en conjunto con un sistema de suministro de energía de reserva no renovable, y elementos de almacenamiento de energía. Para el presente caso de estudio fue considerado un sistema híbrido que interactúe con la red eléctrica convencional tal como el que se muestra en la Figura 3.

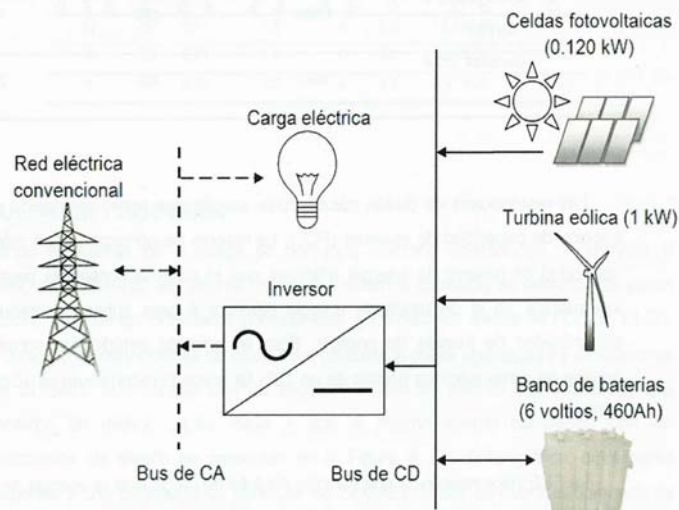


Figura 3. Diagrama de flujo de energía para la configuración de sistema a estudiar.

Para el diseño fueron consideradas celdas fotovoltaicas de una capacidad de 0.120 kW a voltaje nominal de 12 voltios a un costo de USD\$432, generadores eólicos con una capacidad de 1 kW a un costo de USD\$3426, baterías de 6 voltios con una capacidad de 460 Ah a un costo de USD\$407. En lo que refiere al convertidor se considera los modelos presentados en la siguiente tabla:

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

Tabla 2. Modelos de convertidor considerados

Modelo	Capacidad (kW)	Salida de voltaje (VCA)	Costo (USD\$)
SWR-700U w Display	0.700	120	1434
SWR-1800U w Display	1.800	120	1851
OutBack 3724	3500	120	2600

Las restricciones de diseño básicamente son de dos tipos: reserva de operación y fracción de capacidad de escasos (FCE). La reserva de operación hace referencia a la capacidad de reserva de energía adicional que el sistema contempla para repentinos incrementos en la demanda de energía eléctrica ó para súbitos decrementos en la disponibilidad de fuentes de energía. Para el presente estudio fue considerado una reserva de carga eléctrica horaria de un 10% tal como lo recomienda en (Cotrell y Pratt, 2003).

La FCE hace referencia a la fracción del total de carga más la energía de reserva del sistema de generación que lo hace fallar, es decir, la probabilidad de que el sistema de generación no sea capaz de suministrar la energía requerida para nuestra aplicación. Es decir, la probabilidad de requerir servicio de interconexión a la red eléctrica convencional para cubrir la demanda de energía eléctrica. Para el presente estudio fue variándose la FCE en el proceso de diseño, tomando valores de 0, 10, 20, 25, y 50%.

Tabla 3. Configuraciones del SHGAEE optimizadas para el Estado de Querétaro considerando las restricciones de diseño especificadas

Carga eléctrica promedio (kWh/día)	FCE (%)	Radiación solar (kWh/m ² /d)	Paneles fotovoltaicos (kW)	Número de baterías	Convertidor (kW)	Capital inicial (USDS)	CNE (USDS)
12	50	6.01	1.8	4	3.5	10,573.00	0.91
8	50	6.01	1.2	4	3.5	8,413.00	1.006
4	20	6.01	1.2	4	3.5	8,413.00	1.167

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los 3 casos de demanda eléctrica establecidos (4 kWh/día, 8 kWh/día, y 12 kWh/día), los valores máximos y mínimos promedio de velocidad de viento y radiación solar de las localidades consideradas, y los distintos niveles de FCE (0, 10, 20, 25, y 50%) como restricciones de diseño, fue obtenida la mejor arquitectura y dimensiones de un SHGAEE que cumpla con las especificaciones de diseño. Las soluciones que presentaron un menor capital inicial y que al mismo tiempo cumplieron con los requerimientos de diseño se presentan en la Figura 4. En dicha gráfica, cada punto corresponde a una configuración particular de SHGAEE capaz de cubrir la demanda de energía, en esta figura es asociado la demanda energética, la inversión inicial del sistema, y el costo nivelado de energía (CNE), el cual es definido como el costo medio por kWh de la energía producida por el sistema. Dicho valor es de importancia porque nos permite comparar el valor de la electricidad producida por el sistema diseñado con la energía suministrada por la red eléctrica convencional. Para el caso particular, tomaremos como referencia el valor medio que presentó la energía eléctrica (sin subsidio) para la tarifa 1 del servicio doméstico de CFE durante el pasado 2010 (aproximadamente 0.204 USD\$/kWh).

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

Tal como se aprecia en la Figura 4, los usuarios con mayor potencial para generar energía eléctrica para su consumo fueron aquellos con la mayor carga eléctrica promedio (12 kWh/día).

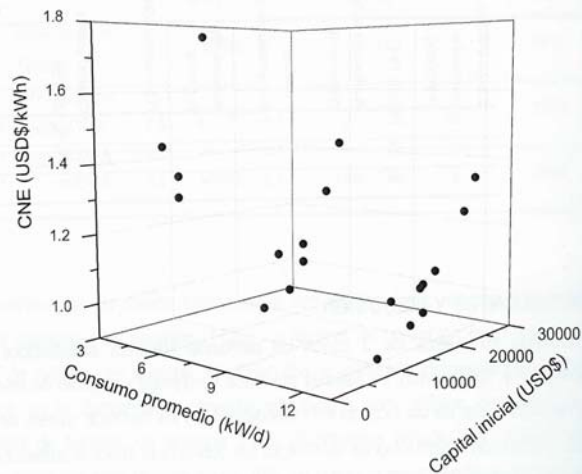


Figura 4.- Conjunto de soluciones para el problema de diseño dadas las restricciones especificadas.

CONCLUSIONES

Con base en las condiciones climáticas de los 17 puntos de referencia considerados a lo largo del Estado de Querétaro, el consumo promedio de los usuarios del sector doméstico de energía eléctrica de la región, así como en simulaciones realizadas con la ayuda de la herramienta de software HOMER, fue observada la inviabilidad técnica y económica de los generadores eólicos en los diseños de SHGAEE propuestos para el Estado de Querétaro. Resultados muestran que sistemas de generación de energía diseñados para usuarios con alto consumo de electricidad son los que presentan menor CNE. Por lo tanto, es

en esta clase de consumidores en la que podría haber un área de oportunidad para crear políticas que fomenten el desarrollo de esta clase de sistemas.

AGRADECIMIENTOS

Ricardo Luna Rubio agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca no. 230783, así como también, se extiende el agradecimiento de manera especial a la Dra. Marina Herrera Pantoja Gerente de Hidroclimatología de la Comisión Estatal de Aguas (CEA) de Querétaro por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

Al-Saleh Y. 2009. Renewable energy scenarios for mayor oil-producing nations: The case of Saudi Arabia. *Futures* **41** (9): 650-662. DOI:10.1016/j.futures.2009.04.005.

Arteconi A, Brandoni C, Polonara F. 2009. Distributed generation and trigeneration: Energy saving opportunities in Italian supermarket sector. *Applied Thermal Engineering* **29** (8-9): 1735-1743. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2008.08.005.

Bazán-Perkins SD, Fernández-Zayas JL. 2008. Evaluation of Mexico's 1975-2000 energy plan. *Energy Economics* **30** (5): 2569-2586. DOI:10.1016/j.eneco.2007.02.006.

Bouffard F, Kirschen DS. 2008. Centralised and distributed electricity systems. *Energy Policy* **36** (12): 4504-4508. DOI:10.1016/j.enpol.2008.09.060.

Castillo-Cagigal M et al. 2011. A semi-distributed electric demand-side management system with PV generation for self-consumption enhancement. *Energy Conversion and Management* **52** (7): 2659-2666. DOI:10.1016/j.enconman.2011.01.017.

Cho A. 2010. Energy's tricky tradeoffs. *Science* **329** (5993): 786-787.

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social

Cinar D, Kayakutlu G, Daim T. 2010. Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: Case of hydro in Turkey. *Energy* 35 (4): 1724-1729. DOI:10.1016/j.energy.2009.12.025.

CONAPO. (2000). Proyecciones de la población por municipios y por localidad 2000-2030. [En línea]. Disponible. <http://www.conapo.gob.mx/micros/proymunloc/index.html>.

Cotrell J, Pratt W. 2003. Modeling the feasibility of using fuel cells and hydrogen internal combustion engines in remote renewable energy systems. *National Renewable Energy Laboratory*. Windpower conference and exposition.

di Stefano J. 2000. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Australia. *Energy* 25 (9): 823-839. DOI: 10.1016/S0360-5442(00)00015-3.

Eastin J, Grundmann R, Prakash A. 2010. The two limits debates: "Limits to Growth" and climate change. *Futures* 43 (1): 16-26. DOI: 10.1016/j.futures.2010.03.001.

Esmaili A, Abdollahzadeh N. 2009. Oil exploitation and the environmental Kuznets curve. *Energy Policy* 37 (1):371-374. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.08.022.

Gugliermetti F, Bisegna F. 2006. Daylighting with external shading devices: design and simulation algorithms. *Building and Environment* 41 (2): 135-149. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.12.011.

Huacuz JM. 2005. The road to green power in Mexico - reflections on the prospects for the large-scale and sustainable implementation of renewable energy. *Energy Policy* 33 (16): 2087-2099. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.04.004.

Järventausta P, et al. 2010. Smart grid power system control in distributed generation environment. *Annual Reviews in Control* **34** (2): 277-286. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2010.08.005.

Kampf JH, Robinson D. 2009. A hybrid CMA-ES and HDE optimisation algorithm with application to solar energy potential. *Applied Soft Computing* **9** (2): 738-745. DOI: 10.1016/j.asoc.2008.09.009.

Kolokotsa D, et al. 2010. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy (corrected proof)* doi:10.1016/j.solener.2010.09.001.

Luna-Rubio R, et al. 2009. Lighting automatic control system for intelligent buildings. *International Review of Automatic Control* **2** (4): 469-476.

Matutinovic I. 2009. Oil and the political economy of energy. *Energy Policy* **37** (11): 4251-4258. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.05.024.

Mdilli A, Dincer I, Ay M. 2006. Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy* **34** (18): 3623-3633. DOI: 10.1016/j.enpol.2005.08.003.

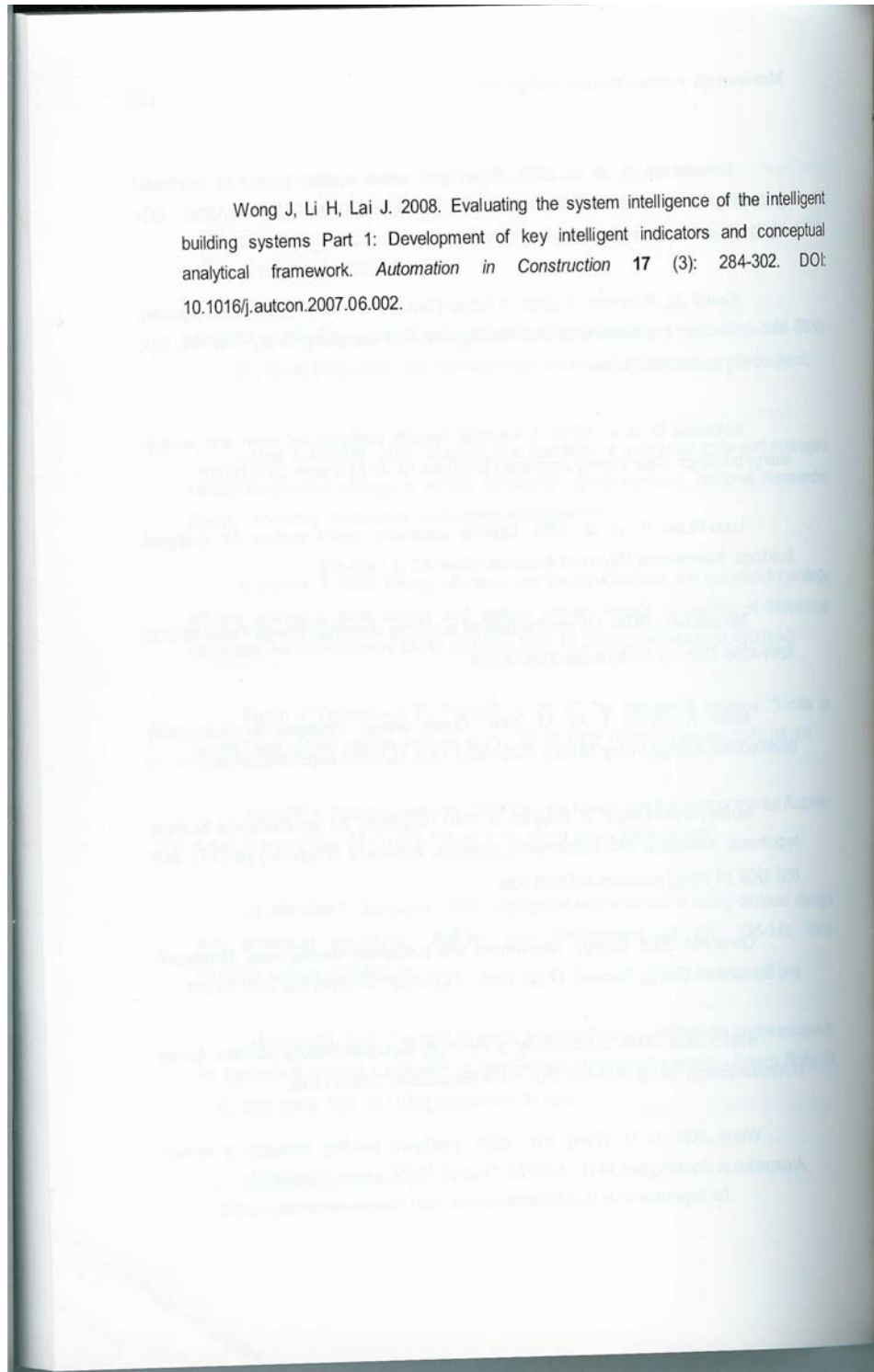
Muller-Furstenberger G, Wagner M. 2007. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: theoretical and econometric problems. *Ecological Economics* **62** (3-4): 648-660. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.08.005.

Omer AM. 2008. Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **12** (9): 2265 - 2300. DOI: 10.1016/j.rser.2007.05.001.

Roth S, et al. 2009. Sustainability of electricity supply technology portfolio. *Annals of Nuclear Energy* **36** (3): 409-416. DOI: 10.1016/j.anucene.2008.11.029.

Wong JKW, Li H, Wang SW. 2005. Intelligent building research: a review. *Automation in Construction* **14** (1): 143-159. DOI: 10.1016/j.autcon.2004.06.001.

La importancia de la hidrometeorología en el entorno económico-social



COMISIÓN ESTATAL
DE AGUAS

Santiago de Querétaro, a 15 de marzo de 2011

RICARDO LUNA RUBIO
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
PRESENTE

La Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro le hace una atenta invitación a Usted y a todos los miembros de su Institución para que participen como ponentes en el Congreso de Meteorología Titulado: **"LA IMPORTANCIA DE LA METEOROLOGIA EN EL ENTORNO ECONOMICO-SOCIAL"** el cual se celebrará los días 19 y 20 de mayo de 2011 en la Ciudad de Querétaro.

El objetivo del Congreso es promover el intercambio de conocimientos, tecnología y experiencias entre investigadores, profesionales, docentes y funcionarios cuyos campos de interés interaccionan con los procesos hidrometeorológicos.

El temario de la Conferencia tendrá énfasis en la aplicación de la información hidrometeorológica en la agricultura, la salud, los recursos hídricos, el medio ambiente, el turismo, la seguridad social, las políticas públicas, el cambio climático, la vulnerabilidad, y la adaptación.

Las personas interesadas en participar deben enviar un resumen de una cuartilla de su presentación a más tardar el 04 de Abril de 2011 a los correos electrónicos de los organizadores del evento: Dra. Marina Herrera mherrera@ceaqueretaro.gob.mx Tel: (442) 2110638 y (442) 1252660 y Met. Antonio Saldivar Sánchez jameteoro@gmail.com Cel. 04455 25256221. Favor de indicar claramente el nombre completo del (los) autor (es), Institución y País. Los expositores que deseen que su presentación sea publicada en la Edición Especial del Evento deberán enviar un trabajo extenso de máximo 12 cuartillas en procesador de texto Word Office 2000 o superior a más tardar el día 18 de abril del 2011.

Esperando contar con su apreciable participación le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Ing. Sergio Loustaunau Velarde
Vocal Ejecutivo CEA