

INVENTARIO, GENERACIÓN, ACUMULACIÓN Y UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN AMBITOS FUNCIONALES DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Carmelo Caparelli, *; José Antonio Folino; Marcelo Marcos Mammino; Hugo Rolón; Graciela Sánchez; Pablo Gastón Baldacchino; Félix Tomkiewicz; Sebastián Blasco; Fernando Mieites; Andrea Lamarmora

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda
Avda. Ramón Franco 5050 - (1874) Villa Domínico. Provincia de Buenos Aires.

**Autor a quien se debe dirigir la correspondencia
ccaparelli@gmail.com*

RESUMEN

La preocupación por el mal uso de los recursos del planeta, el cambio climático, los costos ambientales, el evidente agotamiento y deterioro de los recursos no renovables, nos alertan respecto de la importancia de la utilización y aprovechamiento de las energías limpias y renovables que tenemos a nuestro alcance.

El cambio de modelo energético puede considerarse una realidad en marcha. Para ello deberíamos lograr que gran parte del suministro de energía eléctrica proceda de fuentes de energías renovables, ya sea del viento, del agua o la radiación del sol.

El objetivo del presente trabajo es analizar las variables que nos permitan desarrollar un sistema que denominaremos "ISLA GENERADORA DE ENERGÍA SUSTENTABLE" (IGES), que permita generar, almacenar y abastecer energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

El sistema propuesto representa una mejora en la calidad de vida de la sociedad, tanto en zonas urbanas como rurales, orientándonos hacia un objetivo de cambio, afrontando de forma inteligente los problemas del cambio climático.

La idea del grupo de investigación es favorecer de esta manera un modelo de desarrollo

territorialmente equilibrado, sostenible en el tiempo y con inclusión social.

Dentro del estudio se propone un acercamiento a un modelo de análisis, que permita determinar la configuración/combinación óptima sobre aquellos equipos y componentes que integrarán el sistema, teniendo en cuenta la disponibilidad de las distintas fuentes de energía renovable en diversas zonas de nuestro país.

Palabras Claves: Energía-Solar-Eólica-Renovable-Sustentable.

ABSTRACT

Concern about the misuse of the planet's resources, climate change, environmental costs, the evident exhaustion and deterioration of non-renewable resources, alert us to the importance of the use and use of clean and renewable energies that we have within our reach.

The change of energy model can be considered a reality in process. For this we should ensure that much of the electricity supply comes from renewable energy sources, whether wind, water or solar radiation.

The objective of the present work is to analyze the variables that allow us to develop a system that we will call "GENERATOR ISLAND OF SUSTAINABLE ENERGY" (IGES) that allows to generate, store and supply electric energy from renewable sources.

The proposed system represents an improvement in quality of life, both in urban and rural areas, aiming at a change goal, intelligently addressing the problems of climate change.

The idea of the research group is to foster a territorially balanced, sustainable development model in Time and social inclusion.

The study proposes an approach to a model of analysis, which allows determining the optimal configuration / combination of those equipment and components that will integrate the system, taking into account the availability of different renewable energy sources in different areas of our country.

Keywords: Energy-Solar-Wind-Renewable-Sustainable.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La necesidad de satisfacer la demanda de energía eléctrica a diversas zonas (en especial a las más aisladas) y además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, nos propone un desafío: encontrar nuevas e innovadoras formas de aprovechar las fuentes de energía renovables disponibles en nuestro país.

Mucho se ha trabajado sobre el aprovechamiento de las energías solar y eólica, pero por lo general en forma separada, es por eso que decidimos encarar una investigación que nos permita diseñar un sistema que pueda integrar ambas fuentes de energía, como así también almacenarla de manera eficiente, suministrarla en el momento oportuno y además que sea posible, en momentos en los que se generan excedentes de producción de energía eléctrica, inyectarla a la red.

El sistema que se propone, lo hemos denominado "Isla Generadora de Energía Sustentable" (IGES).

Este trabajo se fundamenta en el Proyecto de Investigación realizado durante el año 2016, denominado 'Análisis y estudio de variables para una Isla Generadora de Energía Sustentable en una unidad funcional del partido de Avellaneda, Bs. As', homologado con código UTN 3821. En este caso las variables están referidas a todo el territorio nacional.

Nuestro país cuenta con un gran potencial en energías renovables que nos colocan en una posición de vanguardia en esta materia respecto a otros países.

Actualmente las energías renovables contribuyen con menos del 2% de la generación eléctrica en el país, muy por debajo de lo propuesto por la legislación recientemente promulgada, lo cual nos da un gran impulso a la hora de desarrollar nuevas e innovadoras soluciones.

A la hora de dimensionar un sistema como el propuesto y lograr un equilibrio óptimo en cuanto a la demanda a satisfacer y la combinación de los distintos componentes de la IGES, es que debemos conocer cuál es la disponibilidad de ambos recursos (eólico y solar), tanto geográficamente como a lo largo del tiempo.

Debemos tener en cuenta que el sistema que describe el trabajo se pueda instalar rápidamente, permitiendo mantener satisfecho el crecimiento de la demanda de energía.

Las energías renovables brindan seguridad energética, su origen proviene de fuentes limpias, generan más puestos de trabajo y no emiten gases de efecto invernadero.

La introducción de este tipo de tecnologías en comunidades aisladas a lo largo de todo el país, acompañada de una correcta capacitación, generará aptitudes que podrán ser replicadas a través de redes de intercambio de conocimiento, favoreciendo la participación de la comunidad y el desarrollo sustentable de la región. Esto generará además gran cantidad de nuevos puestos de trabajo para la fabricación, instalación y mantenimiento de la IGES, (Atmospheric Science Data Center, 2017; Bufanio et al., 2012 y Castells et al., 2011).

El sistema propuesto en el presente trabajo se diferencia de otros existentes, como el 'Simulador Sistema Híbrido Eólico Solar de baja potencia' (Barragan y Fasioli, 2009).

Este modelo se vale del uso de un software de simulación para dimensionar los bancos de baterías y calcular la energía almacenada a partir de la producción y el consumo.

Posee limitaciones (punto 6 del trabajo), siendo las principales:

- Considera el voltaje fijo.
- Considera el consumo constante en segmentos de 6 horas, iguales para todos los días del año.
- A las baterías las considera como 'ideales' que no oponen resistencia a la carga.

Otro modelo, 'Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para casa habitación con tarifa DAC' hace una propuesta para unidades habitacionales de México, DF (Flores Mondragón y Lazcano Lopez, 2011).

Presenta el sistema como una solución alternativa al uso de energía convencional, cuyo costo es más alto, y también como solución para locaciones donde el sistema energético es deficiente.

El inconveniente de este sistema es que necesita de la existencia de una línea de distribución eléctrica cerca, con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.

A lo largo del presente trabajo quedan muy claramente demostradas las diferencias, mencionadas anteriormente, con otros trabajos.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo General

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar una primera aproximación a la generación de un modelo de análisis que permita determinar en forma rápida, la configuración/combinación óptima sobre aquellos equipos y componentes que integrarán el sistema IGES (Aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, subsistemas de acumulación de energía, turbinas hidráulicas reversibles, etc.), teniendo en cuenta la demanda específica de energía a satisfacer y la disponibilidad de las distintas fuentes de energía renovable en diversas zonas de nuestro país.

Objetivos Específicos

- Estudio de la Disponibilidad del recurso energético Solar y Eólico en las distintas zonas del país.
- Explicación de los Recursos Solar y Eólico y su aprovechamiento para generar energía Eléctrica.
- Descripción de la metodología para la determinación de componentes/sistemas que integrarán la IGES.

Demandas específicas a satisfacer por la Isla Generadora de Energía Sustentable (IGES)

Además de los factores de radiación solar y condiciones del viento a los que estará sometida la IGES y su variabilidad según la locación geográfica, que ya han sido comentados, existen otros factores a tener en cuenta, uno de ellos es que la IGES será pasible de instalación en lugares en los que el aislamiento geográfico es un factor muy importante, como así también que, en general, el usuario de la misma será el poblador de zonas rurales.

Es por ese motivo que se deberá poner especial énfasis en un diseño con alta confiabilidad y facilidad para repararlo, colocando estos factores por delante del precio KW instalado, sabiendo que el precio de la energía también dependerá de la vida útil de la IGES, costos de mantenimiento, disponibilidad del equipamiento (horas operativas/Horas vida útil).

Según el Tribunal de Tasación de la Nación las instalaciones de conversión, control, automatización de energía eléctrica tienen una vida útil de 30 años; si se tiene en cuenta la vida útil de los aerogeneradores (en nuestro caso de eje vertical), esta varía entre 15 y 25 años dependiendo del fabricante, lugar de instalación, mantenimiento, etc.; utilizando un criterio conservador se adoptará el valor de 20 años a la hora de realizar los análisis técnico-económicos

A los efectos de maximizar la vida útil y a la vez reducir el tiempo fuera de servicio es que se deberán utilizar componentes de muy buena calidad de proveedores/fabricantes reconocidos y con prestigio en el mercado, (Hau, 2005).

Estrategia Global del Trabajo

Se realizará una descripción general del sistema IGES y sus subsistemas principales; una introducción a los recursos solares y eólico y cómo obtener energía a partir de los mismos.

Con los valores tabulados de radiación solar y velocidades del viento, se fijarán las condiciones límites de diseño (% de aporte de cada una de las fuentes de Energía Renovable, características técnico-económicas de los componentes de generación, acumulación y suministro de energía disponibles al momento de la evaluación) de la IGES para cada una de las regiones establecidas.

Estas condiciones, combinadas con las características deseadas de la IGES, serán utilizadas para determinar la mejor combinación de componentes de generación, acumulación y suministro de energía que integrarán el sistema.

Para la determinación de las características de la IGES y sus componentes, se definirá un proceso de análisis de variables, cuyo resultado será la lista de componentes del Sistema IGES que satisfagan la demanda de energía indicada como objetivo de la forma más eficiente.

DESARROLLO TEÓRICO

Definición del sistema propuesto

La Isla Generadora de Energía Sustentable (IGES) es un sistema que nos permitirá transformar las energías eólica y solar en energía eléctrica, para ser acumulada y usada directamente para consumo o bien ser inyectada a la red de distribución (Figura 1).

- El Sistema IGES estará compuesto básicamente por tres subsistemas (Figura 2):
- Subsistema de Generación: compuesto por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.
- Subsistema de Acumulación: formado por un conjunto regulador de carga y baterías.
- Subsistema Suministro: a través de un inversor pondrá a disposición la energía acumulada en forma de corriente alterna (para consumo directo o inyección a la red), o bien a través de un tablero de conexión en forma de corriente continua.

Esquema Básico del Sistema



Figura 1: Equema Básico de la IGES

Subsistemas de la IGES

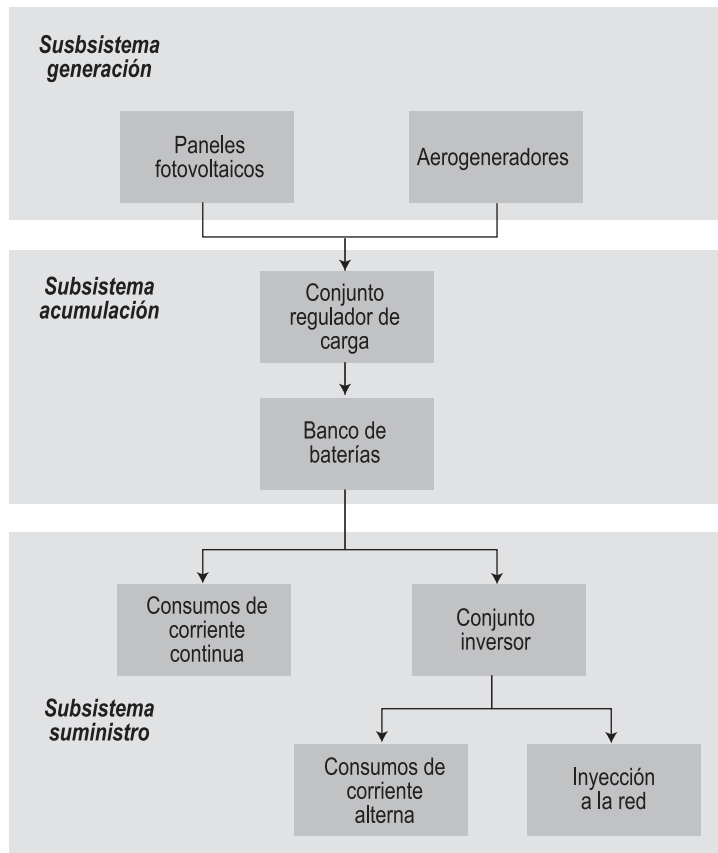


Figura 2: Subsistemas de la IGES

Recurso Eólico (Hau, 2005)

La cantidad de energía contenida o pasible de obtener de una masa de aire en movimiento, cuando circula por las capas bajas de la atmósfera, nos brinda un potencial energético elevado, en especial, en lugares con determinadas condiciones favorables; es por eso que los esfuerzos en el sentido de transformarla en energía útil en condiciones de rentabilidad y eficiencia son justificados, sobre todo aprovechando los diversos avances tecnológicos de los últimos años en materia de conversión eólica.

Una turbina eólica permite transformar la energía cinética del viento en energía mecánica puesta a disposición en su eje. Un Aerogenerador es un generador eléctrico conectado a una turbina eólica, el generador transformará la energía mecánica en energía eléctrica.

La energía cinética (E_c) presente en un fluido de densidad δ y superficie A que se mueve a velocidad v , está dado por:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} \times \delta \times \text{Vol} \times v^2 =$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times l \times v^2 \quad (1.1)$$

La potencia (P) estará dada por dicha energía dividida por t

$$P = (E_c / t) = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times l \times v^2 / t = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times v^3 \quad (1.2)$$

Debemos tener en cuenta que de toda la energía cinética disponible solo es posible extraer una porción, ya que de extraerla completamente el aire detrás de la turbina estaría en reposo.

Betz calculó un límite teórico máximo de extracción, dedujo que la energía máxima extraíble de una turbina es del 59.3% del total disponible, el cociente entre la potencia extraída y la potencia disponible en el fluido se denomina coeficiente de potencia (C_p), (Gómez Velazco, 2009).

C_p es un coeficiente adimensional que representa la fracción de la potencia total del viento que la turbina es capaz de convertir en energía eléctrica.

La potencia aprovechable (P_{apr}) quedará entonces definida por

$$P_{apr} = P \times C_p = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times v^3 \times C_p \quad (1.3)$$

A su vez, debemos tener en cuenta los rendimientos de las transmisiones mecánicas (η_{tm}) y el rendimiento del generador de energía eléctrica (η_{ge}), por lo tanto la potencia efectiva (P_{ef}) a la salida del generador estará a dada por:

$$P_{ef} = P_{apr} \times \eta_{tm} \times \eta_{ge} = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times v^3 \times C_p \times \eta_{tm} \times \eta_{ge} \quad (1.4)$$

Justificación de la elección de un aerogenerador de eje vertical (VAWT) frente a los de eje horizontal (HAWT)

La principal ventaja de los generadores de eje vertical, es que no necesitan la construcción de una torre para su implantación, pueden ser instalados a baja altura, lo que facilita además las tareas de instalación, mantenimiento y ajuste. La ubicación del centro de gravedad muy cercana a los anclajes reduce las tensiones sobre los mismos.

Al poseer el eje vertical, no es necesario orientar el conjunto en función de la dirección del viento predominante, ya que siempre reciben el flujo de aire en condiciones óptimas, funcionan a bajas revoluciones y el radio de giro de sus palas es menor a la de los aerogeneradores de eje horizontal. El aspecto visual de este tipo de aerogeneradores genera un impacto menor, desde el punto de vista acústico el impacto es prácticamente nulo (0 dB medidos a 2 metros del aerogenerador) y además es menos peligroso para las aves que los HAWT.

Los VAWT soportan de mejor manera las condiciones de flujo turbulento que los HAWT.

Hemos seleccionado para la utilización en la IGES, los rotores de tipo Windside (similares a los tipo Savonius, pero con las palas alabeadas, con valores de C_p que varían de 0.25 a 0.3 en velocidades de viento que rondan los 5 m/s) (ver Figura 3).

Los rotores de los aerogeneradores de eje vertical giran más lento por lo que la potencia es generada a torques más altos.

Las palas de este tipo de aerogeneradores están aerodinámicamente diseñadas para captar la mayor energía del viento posible, para esto además de la forma se puede controlar el ángulo de ataque. A causa del viento se produce en las palas una fuerza de sustentación que a su vez produce un torque en el rotor que lo hace girar.

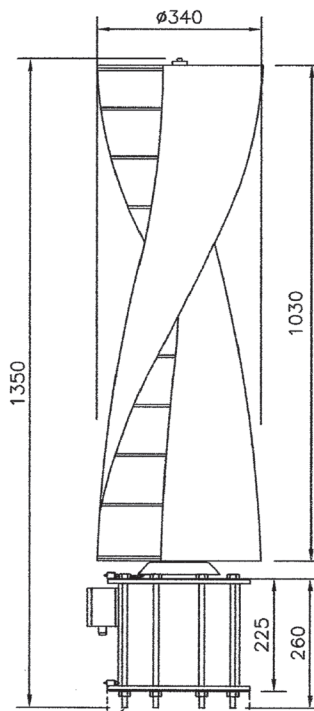


Figura 3: Modelo de Aerogenerador seleccionado

Recurso Solar

El Sol es la fuente primordial de energía de nuestro planeta, cualquier otra fuente disponible es el resultado de transformaciones de la energía solar, que ocurren en pequeños o grandes lapsos de tiempo (energía hidroeléctrica, eólica, o química almacenada en los combustibles fósiles).

Nuestro planeta recibe energía solar de forma abundante y permanente, sin embargo para poder disponer adecuadamente de ella debemos considerar básicamente la ubicación geográfica y la época del año.

Ubicados fuera de la atmósfera terrestre, el planeta recibe del sol una radiación aproximada de 1.366 W/m², esta radiación solar es en parte absorbida, reflejada y dispersada por la atmósfera (nubes, aerosoles y las diversas moléculas que la componen), por lo tanto la radiación solar que alcanza la superficie terrestre depende de la composición de la atmósfera.

Los factores principales que modifican la cantidad de radiación recibida en la superficie son la absorción de la radiación (debido al ozono y el vapor de agua), la dispersión producto de las nubes, el ángulo de incidencia debido a latitud y longitud de la ubicación del lugar donde se realiza la medición, época del año y hora del día (Harper, 2012).

Para la obtención de datos de radiación global horizontal se utilizan las coordenadas geográficas de la zona de estudio y se buscan sus valores en la base de datos atmosféricos de la NASA, (Quadri, 2010).

Para el cálculo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico se tomarán las horas solares equivalentes o la hora solar pico (HSP). La HSP es una unidad aceptada internacionalmente para el dimensionamiento de paneles solares y que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de $1000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ kW/m}^2$.

La radiación global horizontal está expresada por la NASA en $\text{kWh/m}^2\text{día}$, si el valor obtenido lo dividimos por 1 kW/m^2 , obtendremos la cantidad de HSP para la ubicación geográfica seleccionada, valor que se utilizará para el dimensionamiento del colector solar.

Obtención de Datos y Tabulación

En primer lugar se realizó una zonificación del país para poder caracterizar adecuadamente la disponibilidad de recursos renovables

- NOA: Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero
- NEA: Formosa, Chaco, Misiones, Corrientes, Entre Ríos
- CUYO: La Rioja, San Juan, San Luis, Mendoza
- PAMPEANA: Córdoba, Santa Fe, La Pampa, Buenos Aires
- PATAGONICA: Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz, Terra del Fuego.

Para cada una de las provincias se obtuvieron datos sobre la radiación solar sobre superficie horizontal y velocidad del viento a 10 m de altura (se eligió este dato ya que la instalación del aerogenerador seleccionado rara vez supere esa altura), para cada uno de los meses de año, se volcaron en las tablas y se calcularon los valores promedio para cada región. (Ver tablas en Anexo Tablas y Gráficos).

A continuación se volcaron en una tabla resumen los valores promedio para cada una de las regiones (Tablas 1 y 2).

A la hora de realizar los cálculos de los componentes de la IGES, deberemos tener en cuenta las peores condiciones de disponibilidad de recursos, es decir la época del año en la que la disponibilidad de cada recurso es menor, motivo por el cual se destacaron los valores mínimos de Radiación y Velocidad del Viento en las tablas correspondientes.

Tabla 1: Resumen por Región - Recurso Solar

<i>Radiación solar sobre superficie horizontal ($\text{kWh/m}^2\text{día} = \text{HSP}$)</i>												
<i>Región</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
NOA	6.36	5.97	5.46	4.80	4.09	3.76	4.01	4.79	5.88	6.34	6.71	6.69
NEA	6.67	5.89	5.09	3.84	3.24	2.68	3.08	3.91	4.74	5.55	6.40	6.74
Patagónica	6.78	5.88	4.26	2.73	1.68	1.19	1.37	2.09	3.32	4.85	6.20	6.83
Cuyo	7.56	6.81	5.66	4.43	3.32	2.75	3.03	3.93	5.18	6.49	7.48	7.81
Pampeana	7.12	6.32	5.01	3.75	2.79	2.29	2.60	3.49	4.66	5.63	6.77	7.17

Tabla 2: Resumen por Región – Recurso Eólico

<i>Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo (m/s)</i>												
<i>Región</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
NOA	3.64	3.65	3.73	3.92	4.21	4.40	4.62	4.56	4.65	4.50	4.34	3.89
NEA	3.28	3.26	3.24	3.28	3.38	3.46	3.81	3.84	4.03	3.89	3.62	3.41
Patagónica	5.81	5.54	5.51	5.59	5.44	5.38	5.46	5.56	5.59	5.69	5.89	5.84
Cuyo	3.68	3.83	3.89	4.03	4.36	4.41	4.57	4.42	4.45	4.34	4.15	3.79
Pampeana	3.77	3.71	3.69	3.80	3.97	3.88	4.05	4.07	4.27	4.20	4.00	3.83

Se puede observar que la Radiación Solar alcanza valores mínimos para todas las regiones del país en el mes de Junio, mientras que en los valores mínimos para la Velocidad del Viento no se observa ese patrón.

Otro dato importante que resulta de la observación es el buen nivel de vientos en general en función del aerogenerador seleccionado (Tipo WinSide).

A continuación se presenta una caracterización de ambos recursos mediante una escala de grises, desde la condición más favorable (tonalidad oscura) a la menos favorable (tonalidad clara) (Tablas 3 y 4).

Tabla 3: Resumen por Región Recurso Solar

<i>Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m2día = HSP)</i>												
<i>Región</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
NOA	6.36	5.97	5.46	4.80	4.09	3.76	4.01	4.79	5.88	6.34	6.71	6.69
NEA	6.67	5.89	5.09	3.84	3.24	2.68	3.08	3.91	4.74	5.55	6.40	6.74
Patagónica	6.78	5.88	4.26	2.73	1.68	1.19	1.37	2.09	3.32	4.85	6.20	6.83
Cuyo	7.56	6.81	5.66	4.43	3.32	2.75	3.03	3.93	5.18	6.49	7.48	7.81
Pampeana	7.12	6.32	5.01	3.75	2.79	2.29	2.60	3.49	4.66	5.63	6.77	7.17

Tabla 4: Resumen por Región – Recurso Eólico

<i>Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo (m/s)</i>												
<i>Región</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
NOA	3.64	3.65	3.73	3.92	4.21	4.40	4.62	4.56	4.65	4.50	4.34	3.89
NEA	3.28	3.26	3.24	3.28	3.38	3.46	3.81	3.84	4.03	3.89	3.62	3.41
Patagónica	5.81	5.54	5.51	5.59	5.44	5.38	5.46	5.56	5.59	5.69	5.89	5.84
Cuyo	3.68	3.83	3.89	4.03	4.36	4.41	4.57	4.42	4.45	4.34	4.15	3.79
Pampeana	3.77	3.71	3.69	3.80	3.97	3.88	4.05	4.07	4.27	4.20	4.00	3.83



De la Tabla 4 es de destacar que la velocidad mínima del viento en todas las épocas del año y regiones del país es en promedio superior a los 3 m/s, velocidad a partir de la cual los distintos fabricantes de aerogeneradores de eje vertical recomiendan su instalación.

Para la obtención de datos referidos a la Radiación Solar y Velocidad del viento se consultó la base de Datos Atmosféricos de la NASA, que contiene registros históricos de 22 años (entre 1983 y 2005) para radiación solar y, de 10 años, para velocidades de viento a 10 m de altura (entre 1983 y 1993) (Quadri, 2010).

Formulación del modelo para determinar componentes de la IGES

A los efectos de poder dimensionar el sistema IGES para una ubicación geográfica específica y definir sus componentes, utilizaremos el diagrama de flujo de la Figura 4.

Como todo sistema en etapa de diseño, se deberá comenzar por determinar cuál es la salida del mismo (en el caso de la IGES cantidad de energía a acumular y suministrar), y en función de la salida, se definirán los componentes y sus características.

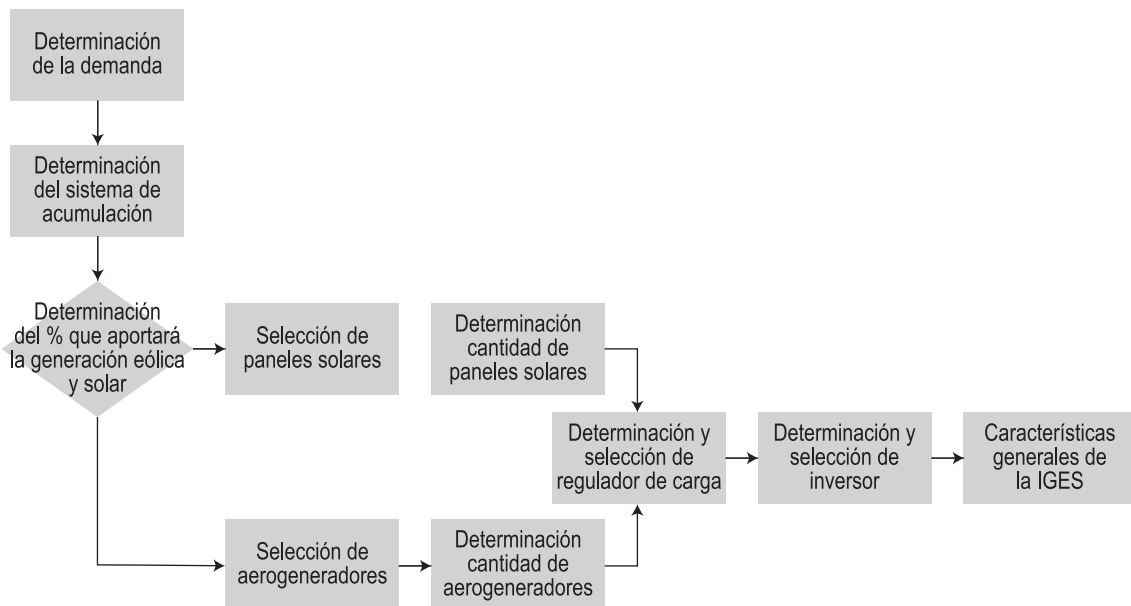


Figura 4: Diagrama de Flujo

Determinación de la Demanda

La determinación de la demanda total de energía (D), resultará de la sumatoria de los consumos diarios de cada uno de los artefactos eléctricos (C_n) que quieran ser alimentados por la IGES, multiplicados por un coeficiente de eficiencia de la instalación eléctrica (η_{ie} = dependerá del estado de la misma), y a su vez multiplicado por los días de autonomía pretendidos (d_{aut} en términos generales, cantidad de energía acumulada disponible sin aporte de las fuentes de generación).

$$D = \sum C_n \times \eta_{ie} \times d_{aut} \quad (4.1)$$

Determinación del Subsistema de Acumulación

El subsistema de acumulación se diseña a partir la cantidad de energía a acumular (teniendo en cuenta los consumos a satisfacer y la autonomía pretendida) y el costo del propio subsistema.

En los sistemas de baja tensión de corriente continua (presente en este tipo de subsistemas) circulan valores relativamente grandes de corriente. En consecuencia ocurren notables caídas de tensión en los cables que interconectan las baterías. Estas caídas de tensión generan pérdidas, corrientes indeseadas y lecturas imprecisas en el regulador de carga e inversor (generando el funcionamiento errático de estos componentes). Para reducir las caídas de tensión es conveniente también reducir al máximo la longitud del cableado.

El manejo de los valores de corriente elevados demanda, además, la utilización de conductores de gran sección, como así también equipos de maniobra y control de mayor capacidad, incrementando esto notablemente los costos.

Para potencias menores a 1.5 kW se sugiere 12 V; entre 1.5 y 5.0 kW, la tensión sugerida es de 24 V o 48 V y para el casos en los que se superen los 5.0 kW la tensión podrá ser 48 V o 120 V. (Sobrevila, 2007 y 2004; Tribunal de Tasaciones de la Nación, 2004).

Una vez seleccionada la tensión del banco de baterías y sabiendo cuál es la tensión individual de la batería, se definirá la cantidad y forma de conexionado de las mismas (serie o paralelo).

En función de la cantidad, tensión, forma de conexionado de las baterías y su capacidad individual en Ah (Ampere Hora), se podrá calcular finalmente la capacidad total del banco en Watts Hora.

Definición del % de aporte de cada Fuente de generación

A partir del análisis de disponibilidad de recursos renovables realizado sobre la zona en la que se instalará la IGES (valores promedio mínimos anuales de Radiación Solar y Velocidad del Viento), se determinará el % que deberá aportar cada uno de los subsistemas de generación.

Para la determinación del % de aporte de cada fuente de generación, se debe realizar una evaluación de distintas configuraciones del sistema, a efectos de maximizar la generación de energía en función del recurso renovable de mayor disponibilidad en la zona. Sin embargo a la hora de realizar esta evaluación, se deberá tener en cuenta las peores condiciones de disponibilidad de recursos no renovables, es decir la época del año en la que la disponibilidad de cada recurso es menor (esta consideración nos permite detectar además en que época del año tendremos un excedente de generación de energía que, de ser posible, se inyectaría a la red de distribución, no contemplada en el presente trabajo); por ese motivo se destacaron los valores mínimos de Radiación y Velocidad del Viento en las Tablas 1 y 2; de la Tabla 4 es de destacar que la velocidad mínima del viento en todas las épocas del año y regiones del país es, en promedio, superior a los 3 m/s, velocidad a partir de la cual los distintos fabricantes de aerogeneradores de eje vertical recomiendan su instalación; esto nos da la pauta que todas las configuraciones posibles de la IGES contemplarán un aporte, aunque mas no sea mínimo, del recurso eólico.

La determinación de este parámetro nos permitirá, en etapas posteriores del análisis del sistema, determinar la configuración/combinación óptima sobre los equipos y componentes que integrarán el sistema IGES (Aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, subsistemas de acumulación de energía, turbinas hidráulicas reversibles, etc.), teniendo en cuenta la demanda específica de energía a satisfacer y la disponibilidad de las distintas fuentes de energía renovable en la zona de implementación.

A modo de ejemplo: según los datos tabulados en la Tabla 1, podemos observar muy poco recurso solar en la zona patagónica entre los meses de mayo y agosto, sin embargo el recurso eólico se mantiene constante y en valores muy prometedores durante todo el año, estos datos harán que, en las IGES a implantar en esta zona, se priorice el componente de energía eólica por sobre el solar.

Selección de Paneles Solares

Como criterio de selección se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros: Potencia de Pico (W_p), Tensión de circuito abierto (V_{ca}), Corriente cortocircuito (I_{cc}), Dimensiones y Peso, temperatura de operación, Coeficiente de degradación por efecto de la Temperatura de operación, etc.

Determinación de cantidad de Paneles Solares

A partir de los parámetros de los paneles seleccionados, se definirá el conexionado de los mismos (serie o paralelo), y en función de los datos precedentes, demanda y % de aporte a la IGES, se calcula la cantidad de paneles necesarios.

Selección de Aerogeneradores

Como criterio de selección, se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros: Potencia (W_p), Tensión de circuito abierto (V_{ca}), Corriente cortocircuito (I_{cc}), Dimensiones y Peso, límites inferiores y superiores de velocidades de viento, métodos de anclaje, restricciones por interferencias aerodinámicas, etc.

Determinación de cantidad de Aerogeneradores

A partir de los parámetros de los aerogeneradores seleccionados, se definirá el conexionado eléctrico de los mismos (serie o paralelo), y en función de los datos precedentes, demanda y % de aporte a la IGES, se calcula la cantidad de paneles necesarios.

Determinación y Selección del Regulador de Carga

El tipo y cantidad de reguladores de carga dependerán de la Capacidad del banco (energía a acumular, tensión y corriente), y a las características de las fuentes de generación.

Determinación y Selección del Inversor (CC a CA)

El tipo y cantidad de inversores de corriente dependerán de la demanda de energía que deberá satisfacer la IGES.

Como beneficio adicional se podría incorporar un dispositivo que permita inyectar el excedente de energía eléctrica generada por la IGES a la Red Pública (siempre de acuerdo a la legislación vigente de la zona de implantación).

Características Generales de la IGES

Una vez finalizadas las etapas previas, habremos obtenido un listado detallado (características y cantidades) de los componentes principales necesarios de nuestra IGES, a saber:

- Banco de Baterías.
- Aerogeneradores.
- Paneles Solares.
- Reguladores de Carga.
- Inversores de corriente (CC a CA).
- Instalaciones auxiliares (estructurales y eléctricas).

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo nos permite visualizar la variada problemática a analizar a la hora de evaluar un sistema como la IGES, y llegar a una serie de conclusiones:

El modelo teórico propuesto podrá utilizarse como base para desarrollar un modelo matemático que realice de forma automática las determinaciones de los subsistemas/componentes de la IGES.

Existe un gran potencial eólico/solar de la República Argentina.

Es necesario desarrollar un mapa de los recursos eólico y solar con datos actualizados y actualizables.

Será posible utilizar la IGES como medio para concientizar a los alumnos de escuelas primarias y secundarias del uso de la Energías Renovables, y de esa forma lograr la participación de toda la comunidad en la implantación e implementación de la IGES, además de conciencia respecto del medio ambiente.

Entendemos que el desarrollo de un Sistema IGES permitirá suministrar energía eléctrica a los usuarios finales sin necesidad de intermediarios, pudiendo ser ellos los responsables de su instalación y mantenimiento a lo largo del tiempo, lo que generará mayor aceptación del sistema, además de acercar a los usuarios finales una fuente de generación de energía limpia.

La utilización de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables nos permitirá disminuir el consumo de recursos no renovables o bien hacer un uso más eficiente de los mismos.

Aprovechar el desarrollo de la IGES como medio para estudiar futuros desarrollos de nuevas fuentes de energía renovables pasibles de ser incorporadas a la misma.

Creemos que la fabricación, instalación y mantenimiento de sistemas como la IGES generarán nuevas fuentes de trabajo.

Los datos obtenidos son simplemente de referencia ya que el sistema IGES merece un estudio mucho más profundo, para definir la disponibilidad real de cada uno de los recursos en las distintas zonas del país, pero claramente deja en evidencia la importancia del recurso eólico en la región patagónica de nuestro país.

REFERENCIAS

Atmospheric Science Data Center - NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location [en línea] Disponible en <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=fer872sm@gmail.com> [última fecha de acceso, 15 de Mayo de 2017].

BARRAGAN L.C, FASIOLI H. Simulador sistema híbrido eólico solar de baja potencia. http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2009/hyfusen_2009/trabajos/10-172.pdf

BUFANIO, R., BONOLI, M., EDWARDS, D., GOGNI, V. (2012). Seminario Nacional Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Instituto Regional de Estudios sobre Energía. Mendoza, Argentina

CASTELLS, X. E., BORDAS ALSINA, S. (2011). Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad. España. Editorial Díaz de Santos Ediciones. España

FLORES MONDRAGON, J., LAZCANO LOPEZ, J. P. Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para casa habitación con tarifa DAC. México <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2971/tesis.pdf?sequence=1>

GÓMEZ VELAZCO; (2009). Energías Renovables. España. Editorial Reverte. España

HARPER, E. (2012). El ABC de las energías renovables de los Sistemas Eléctricos. México. Primera Edición. Editorial Limusa Grupo Noriega Editores. México.

HAU, E. (2005). Wind turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer.

QUADRI, N. (2010); Energía Solar. Argentina. 5ta Edición. Editorial Alsina. Argentina

Sobrevila, Marcelo Antonio. (2007) Instalaciones Eléctricas. 3era. Edición. Editorial Alsina. Argentina

SOBREVILA, M.A. (2004). Introducción a la Electrotecnia. Editorial Alsina. Argentina

Tribunal de Tasaciones de la Nación (2004). Norma TTN 19.1 Valuación de instalaciones [en línea]. Disponible en http://www.ttn.gov.ar/normas/norma_19_1.htm [última fecha de acceso, 15 de Mayo de 2017].

ANEXO Tablas y Gráficos

Análisis resumen de Radiación Solar y Velocidad de Viento por regiones

Tabla 5

REGIÓN DEL NOROESTE (NOA)

Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m²/day)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Jujuy	6.27	6.06	5.82	5.50	4.98	4.71	4.88	5.51	6.44	6.60	6.83	6.71
Salta	6.67	6.40	6.09	5.44	4.59	4.26	4.47	5.24	6.45	6.97	7.30	7.18
Tucumán	6.30	5.90	5.66	4.99	4.12	3.76	3.98	4.80	5.94	6.41	6.70	6.60
Catamarca	6.44	5.85	5.14	4.29	3.53	3.20	3.42	4.28	5.43	6.06	6.67	6.82
Santiago del Estero	6.11	5.64	4.61	3.80	3.21	2.87	3.32	4.13	5.14	5.64	6.04	6.16
Promedio	6.36	5.97	5.46	4.80	4.09	3.76	4.01	4.79	5.88	6.34	6.71	6.69
Mínimo	3.76											

Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Jujuy	3.38	3.33	3.43	3.70	4.07	4.48	4.67	4.56	4.51	4.26	4.01	3.61
Salta	3.42	3.48	3.62	3.92	4.26	4.54	4.76	4.66	4.65	4.38	4.16	3.73
Tucumán	3.71	3.74	3.84	4.05	4.38	4.53	4.74	4.68	4.73	4.59	4.42	3.97
Catamarca	3.88	3.93	4.00	4.09	4.34	4.37	4.59	4.57	4.78	4.74	4.66	4.13
Santiago del Estero	3.81	3.77	3.77	3.82	4.01	4.08	4.32	4.34	4.57	4.55	4.47	4.03
Promedio	3.64	3.65	3.73	3.92	4.21	4.40	4.62	4.56	4.65	4.50	4.34	3.89
Mínimo	3.64											

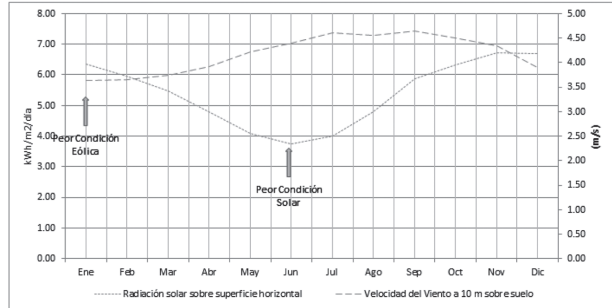


Tabla 6

REGIÓN DEL NORESTE (NEA)

Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m²/day)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Formosa	6.69	5.91	5.19	4.01	3.38	2.87	3.39	4.24	4.98	5.74	6.33	6.63
Chaco	6.66	5.98	5.14	3.86	3.37	2.77	3.24	4.19	5.01	5.80	6.47	6.74
Misiones	6.29	5.71	5.01	3.82	3.30	2.76	3.07	3.77	4.34	5.22	6.20	6.61
Corrientes	6.74	5.85	5.03	3.74	3.21	2.63	3.01	3.77	4.63	5.46	6.39	6.80
Entre Ríos	6.96	6.02	5.07	3.75	2.92	2.38	2.69	3.58	4.74	5.51	6.61	6.94
Promedio	6.67	5.89	5.09	3.84	3.24	2.68	3.08	3.91	4.74	5.55	6.40	6.74
Mínimo	2.68											

Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Formosa	3.22	3.14	3.14	3.00	2.97	3.20	3.55	3.70	4.08	3.97	3.63	3.30
Chaco	3.62	3.56	3.56	3.69	3.60	3.83	4.16	4.09	4.42	4.29	4.00	3.81
Misiones	2.80	2.91	2.81	2.84	3.11	3.17	3.36	3.33	3.38	3.33	3.18	2.98
Corrientes	3.84	3.74	3.74	3.67	3.68	3.64	4.34	4.49	4.53	4.43	4.04	4.04
Entre Ríos	2.92	2.93	2.93	3.20	3.55	3.46	3.62	3.61	3.73	3.42	3.25	2.93
Promedio	3.28	3.26	3.24	3.28	3.38	3.46	3.81	3.84	4.03	3.89	3.62	3.41
Mínimo	3.24											

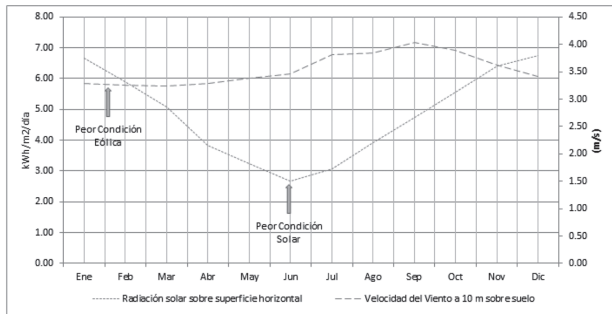


Tabla 7

REGIÓN PATAGÓNICA

Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m²/day)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Neuquén	8.11	7.12	5.28	3.47	2.21	1.54	1.76	2.46	3.65	5.29	6.85	7.78
Río Negro	7.82	6.80	5.05	3.47	2.23	1.73	2.00	2.86	4.23	5.71	7.15	7.84
Chubut	7.24	6.28	4.61	3.00	1.87	1.40	1.59	2.42	3.76	5.33	6.76	7.39
Santa Cruz	5.67	5.05	3.50	2.15	1.25	0.78	0.89	1.52	2.66	4.21	5.41	5.82
T del Fuego	5.05	4.13	2.85	1.56	0.82	0.51	0.62	1.21	2.31	3.73	4.81	5.31
Promedio	6.78	5.88	4.26	2.73	1.68	1.19	1.37	2.09	3.32	4.85	6.20	6.83
Mínimo	1.19											

Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Neuquén	4.33	4.23	4.23	4.24	4.61	4.51	4.55	4.38	4.34	4.38	4.19	4.43
Río Negro	5.05	4.70	4.72	4.80	5.09	4.91	4.90	4.76	4.76	4.84	4.95	5.22
Chubut	5.96	5.25	5.13	5.40	5.29	5.12	5.07	5.01	5.08	5.37	5.63	5.97
Santa Cruz	6.97	6.31	5.99	6.00	5.44	5.25	5.52	5.70	5.93	6.23	6.94	7.01
T del Fuego	6.76	7.20	7.49	7.50	6.78	7.13	7.28	7.94	7.83	7.62	7.73	6.59
Promedio	5.81	5.54	5.51	5.59	5.44	5.38	5.46	5.56	5.59	5.69	5.89	5.84
Mínimo	5.38											

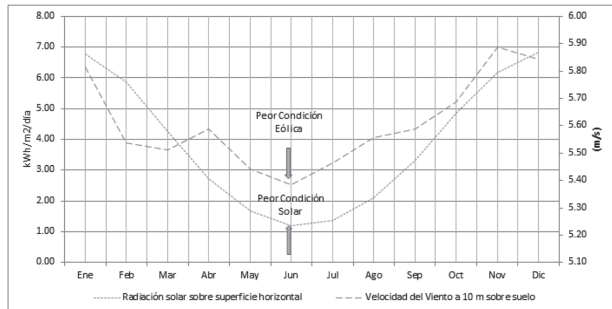


Tabla 8

REGIÓN CUYO												
Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m ² /day)												
Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Dic	
La Rioja	7.15	6.48	5.68	4.75	3.80	3.30	3.58	4.54	5.80	6.74	7.49	7.61
San Juan	7.65	6.95	6.13	4.84	3.59	3.01	3.20	4.16	5.48	6.80	7.76	7.99
San Luis	7.65	6.91	5.26	4.15	3.08	2.61	2.91	3.87	5.17	6.43	7.43	7.91
Mendoza	7.80	6.90	5.57	3.97	2.79	2.06	2.41	3.16	4.25	5.98	7.23	7.71
Promedio	7.56	6.81	5.66	4.43	3.32	2.75	3.03	3.93	5.18	6.49	7.48	7.81
Mínimo	2.75											

Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo												
Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Rioja	3.61	3.81	4.04	4.23	4.71	4.82	5.05	4.83	4.80	4.57	4.24	3.85
San Juan	3.63	3.78	3.86	3.98	4.37	4.42	4.68	4.42	4.47	4.36	4.21	3.76
San Luis	3.70	3.86	3.86	3.93	4.09	4.09	4.22	4.18	4.30	4.23	4.09	3.76
Mendoza	3.78	3.88	3.78	3.99	4.28	4.30	4.34	4.26	4.24	4.21	4.05	3.78
Promedio	3.68	3.83	3.89	4.03	4.36	4.41	4.57	4.42	4.45	4.34	4.15	3.79
Mínimo	3.68											

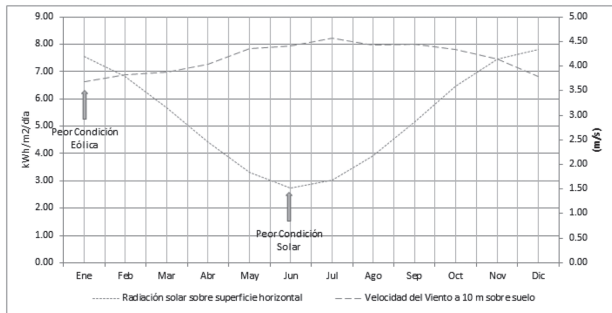


Tabla 9

REGIÓN PAMPEANA												
Radiación solar sobre superficie horizontal (kWh/m ² /day)												
Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Córdoba	6.81	6.10	4.91	3.88	2.96	2.58	2.88	3.77	4.88	5.58	6.50	6.83
Santa Fé	6.72	6.00	5.00	3.82	3.12	2.54	2.93	3.83	4.92	5.68	6.63	6.92
La Pampa	7.80	6.89	5.22	3.68	2.50	1.98	2.28	3.21	4.48	5.86	7.33	7.77
Buenos Aires	7.15	6.30	4.91	3.63	2.57	2.04	2.29	3.16	4.37	5.41	6.61	7.16
Promedio	7.12	6.32	5.01	3.75	2.79	2.29	2.60	3.49	4.66	5.63	6.77	7.17
Mínimo	2.29											

Velocidad Del Viento a 10 m sobre el suelo												
Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Córdoba	3.44	3.52	3.44	3.58	3.68	3.61	3.83	3.88	4.15	4.03	3.91	3.54
Santa Fé	3.67	3.38	3.37	3.45	3.56	3.51	3.91	3.92	4.30	4.22	3.85	3.71
La Pampa	4.30	4.24	4.24	4.24	4.45	4.38	4.40	4.38	4.38	4.38	4.32	4.34
Buenos Aires	3.67	3.71	3.70	3.93	4.20	4.01	4.05	4.11	4.23	4.15	3.93	3.74
Promedio	3.77	3.71	3.69	3.80	3.97	3.88	4.05	4.07	4.27	4.20	4.00	3.83
Mínimo	3.69											

